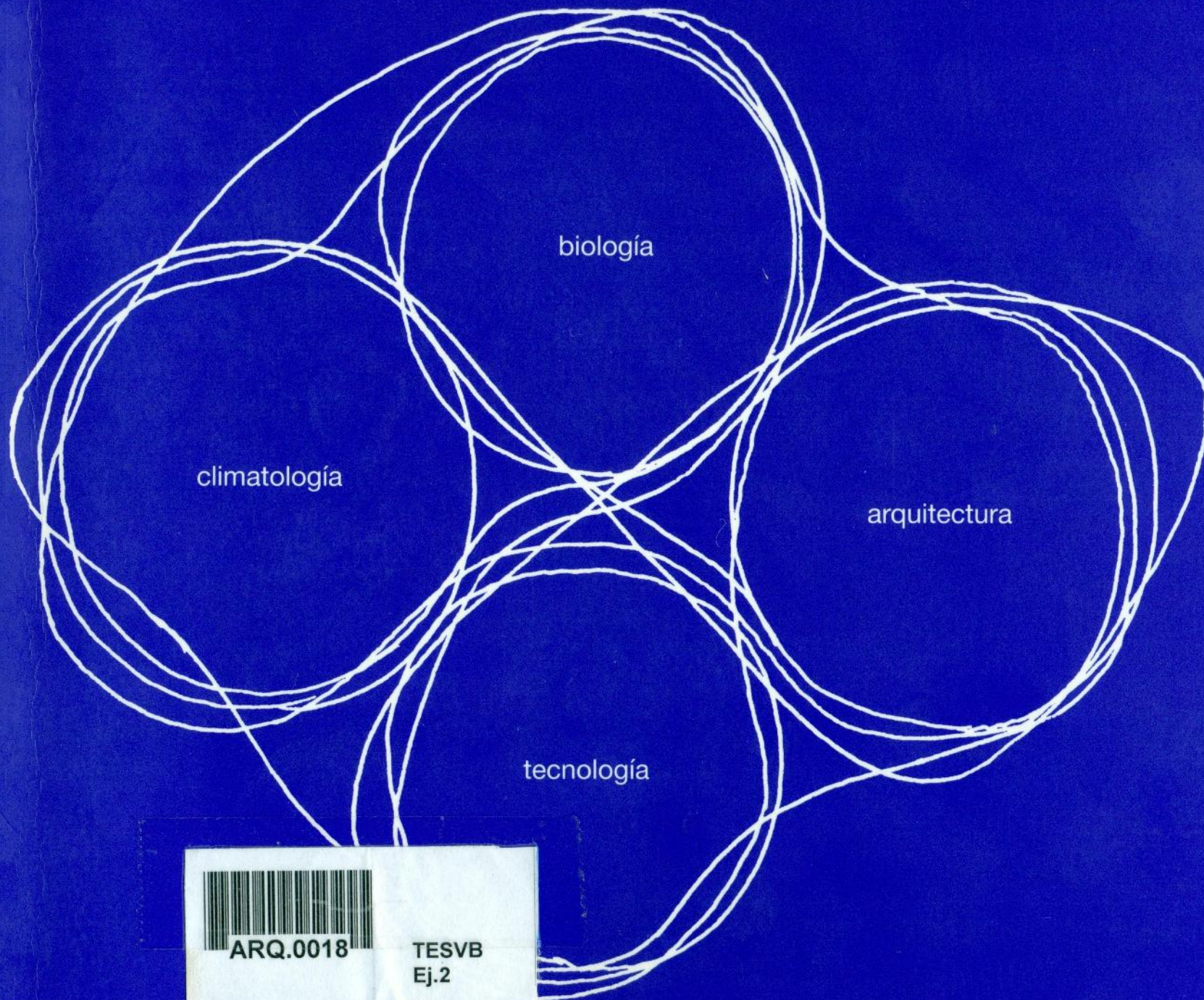


VÍCTOR OLGAYAY



ARQ.0018

TESVB
Ej.2

GG®

ARQUITECTURA Y CLIMA

MANUAL DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO PARA ARQUITECTOS Y URBANISTAS

ARQUITECTURA Y CLIMA

MANUAL DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO PARA ARQUITECTOS Y URBANISTAS

Director de la colección: Miguel Ruano, arquitecto

Título original: *DESIGN WITH CLIMATE.*

Bioclimatic approach to architectural regionalism

Versión castellana de Josefina Frontado y Luis Clavet, arqts.

Revisión técnica: Carme Muntané, arquitecta

Diseño de la cubierta: Estudi Coma

1ª edición, 1ª tirada, 1998

2ª tirada, 2002

3ª tirada, 2004

4ª tirada, 2006

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, la reproducción (electrónica, química, mecánica, óptica, de grabación o de fotocopia), distribución, comunicación pública y transformación de cualquier parte de esta publicación —incluido el diseño de la cubierta— sin la previa autorización escrita de los titulares de la propiedad intelectual y de la Editorial. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y siguientes del Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (CEDRO) vela por el respeto de los citados derechos.

La Editorial no se pronuncia, ni expresa ni implícitamente, respecto a la exactitud de la información contenida en este libro, razón por la cual no puede asumir ningún tipo de responsabilidad en caso de error u omisión.

© Princeton University Press. 1963

© del anexo a la edición española, Susana Rodríguez Alamparte

© Editorial Gustavo Gili, SL, Barcelona, 1998

Printed in Spain

ISBN-13: 978-84-252-1488-2

ISBN-10: 84-252-1488-2

Depósito legal B. 46.761-2006

Impresión: Gráficas 92, SA, Rubí (Barcelona)

ÍNDICE

Prefacio a la edición española	VI	
por Rafael Serra Florensa		
Prólogo y agradecimientos	IX	
Parte 1. INTERPRETACIÓN CLIMÁTICA		
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1	
La tierra y la vida. La vida animal y su refugio. Refugio y vida humana. Adaptación del refugio al clima. Similitudes en el mundo. Asentamientos comunitarios y clima. Carácter regional. Encontrar el método. Sumario.		
II. INTERPRETACIÓN BIOCLIMÁTICA	14	
Efectos del clima en el hombre. Refugio y entorno. Zona de confort. Relación entre los elementos climáticos y el confort. Gráfica bioclimática.		
III. EVALUACIÓN REGIONAL	24	
Evaluación climática por regiones. Necesidades bioclimáticas por regiones.		
IV. ELEMENTOS CLIMÁTICOS	32	
Factores del clima. Transferencia de radiación calorífica.		
Parte 2. INTERPRETACIÓN SEGÚN PRINCIPIOS ARQUITECTÓNICOS		
V. ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	44	
Efectos microclimáticos. Efectos topográficos. Entorno natural y construido. Criterios para la selección del emplazamiento.		
VI. ORIENTACIÓN SOL-AIRE	53	
El ser humano y su relación con el sol. Teorías recientes. Interpretación sol-aire. Adaptación regional. Aplicación regional.		
VII. CONTROL SOLAR	63	
La estructura. Transmisión de calor y de radiación. Métodos de protección para superficies acristaladas. Conclusiones acerca de la efectividad de la sombra. Economía en la aplicación de mecanismos protectores. Efectos de la sombra producida por los árboles y la vegetación. Dificultades del entorno. Resumen del método.		
VIII. ENTORNO Y FORMAS EDIFICATORIAS	84	
Morfología en la naturaleza. Impacto de las fuerzas térmicas externas en la edificación. Criterio de la forma óptima. Conclusiones para la forma básica de la vivienda. Efectos regionales en formas edificatorias de gran tamaño. Morfología de las estructuras urbanas.		
IX. EFECTOS DEL VIENTO Y MODELOS DE FLUJO DEL AIRE	94	
Viento y arquitectura. Análisis del viento. Factores locales según la orientación del viento. Elementos protectores del viento. Modelos de flujo de aire en el interior de los edificios. Resumen de los procedimientos de control del viento.		
X. EFECTOS TÉRMICOS DE LOS MATERIALES	113	
Materiales opacos y equilibrio de la temperatura interior. Penetración del calor a través de la superficie. Efectos de la humedad. Deterioro de materiales. Transmisión calorífica de los materiales. Capacidad de aislamiento o efectos de la capacidad calorífica. Inercia calorífica y métodos de cálculo. Aislamiento equilibrado. Síntesis.		
Parte 3. APLICACIÓN		
XI. PLANIFICACIÓN HELIOTÉRMICA	126	
Criterios de confort. Cálculo del comportamiento térmico de la edificación. Método de análisis para la planificación heliotérmica. Comportamiento térmico. Análisis térmico de las estructuras en las zonas templadas, zonas frías, zonas cálidas-áridas y zonas cálidas-húmedas. Resumen de conclusiones regionales.		
XII. EJEMPLOS EN CUATRO REGIONES	153	
Aplicación arquitectónica a ordenaciones urbanas.		
APÉNDICE A. Notas técnicas.	178	
APÉNDICE B. El Termoheliodon.	180	
ANEXO A LA EDICIÓN ESPAÑOLA	186	
por Susana Rodríguez Alemparte		
Introducción. España. Países latinoamericanos		
Bibliografía y referencias	198	
Índice	201	
Procedencia de las ilustraciones	203	V

PREFACIO A LA EDICIÓN ESPAÑOLA

En la década de los setenta, a raíz de la crisis de la energía, la sociedad occidental en general, y una parte importante del mundillo de la arquitectura en particular, descubrieron con sorpresa que las energías artificiales que soportaban esta sociedad no eran un bien ilimitado que podía ser explotado sin ninguna prevención. En aquel momento, ya algunos arquitectos y tratadistas de la arquitectura replantearon consecuentemente el concepto de edificio moderno, tanto en su concepción funcional como en su concepción estética.

Cuando, como consecuencia de lo anterior, se comenzó a investigar sobre esta relación entre arquitectura y energía, se descubrió rápidamente que existía un autor que, 20 años antes, ya había profundizado en la interacción que existe entre un edificio y el medio natural que lo envuelve, postulando en sus escritos cómo es y debe ser la relación entre "arquitectura" y "lugar", entre "forma" y "clima", o entre "urbanismo" y "regionalismo", contradiciendo drásticamente las leyes implícitas y aparentes de la arquitectura más "oficial" de las décadas centrales de nuestro siglo.

Victor Olgyay, a veces en colaboración con su hermano Aladar, fue este autor que se atrevió, allá por los años cincuenta, a plantear una arquitectura distinta a la convencional en sucesivos artículos y libros que culminaron, en 1962, con el texto que ahora nos ocupa.

A partir de entonces Olgyay (o los Olgyay), se convirtió en autor de referencia para todos los que se introdujeron en el difícil y, en aquel momento, contracultural camino de lo que vino a llamarse, en sucesivas etapas: "arquitectura solar", "arquitectura pasiva" y "arquitectura bioclimática". Los principios y actitudes que se iban redescubriendo, los estudios teóricos y formulaciones, los sistemas técnicos, por último, que se iban integrando a los edificios, no eran, en su mayor parte, más que

reinterpretación de muchas cosas que él ya había explicado veinte años antes.

Porque incluso el término "arquitectura bioclimática", quizás el que más ha cuajado a lo largo de los años, también procede de Olgyay, aunque eso sí, empleado con mayor discreción, y seguramente con mayor acierto, de lo que se emplea hoy en día. Cuando actualmente intentamos no adjetivizar la arquitectura, pues pensamos que debería entenderse siempre como fenómeno global, encontramos que Olgyay, al idear el mencionado término, nos habla de la "interpretación bioclimática" de la arquitectura (*bioclimatic approach*), definiendo los efectos del "clima" sobre el hombre (el "bios"), conservando siempre esta visión global del hecho arquitectónico a la que nos hemos referido más arriba. Por esto el autor siempre se refiere a la arquitectura en general y no a un determinado tipo de edificios que necesiten llevar un adjetivo calificador detrás.

Curiosamente, los textos de Olgyay, citados, copiados y plagiados en todo el mundo, han sido escasamente traducidos al castellano a lo largo del importante lapso de tiempo que ha pasado desde sus primeras apariciones. En particular el libro que aquí estamos considerando, *Design with Climate*, que en cierta forma es clave y compendio de su obra, no tenía hasta hoy una versión en castellano. Hemos tenido que esperar más de un cuarto de siglo después de la muerte de su autor (1970), para poder disponer de esta versión completa del texto.

Por otro lado, aunque este texto fue escrito en Estados Unidos y para Estados Unidos, su contenido y su enfoque van mucho más allá de lo que se podría suponer. Como el propio autor demostró en estudios que realizó para la aplicación de sus principios de diseño a otros países, como en el caso de Venezuela, el método resulta perfectamente válido en todo tipo de situaciones climáticas. Únicamente se de-

ben tener en cuenta, en algunos casos, circunstancias culturales y tecnológicas en su aplicación, como el propio autor recomienda implícitamente en la presentación de los distintos capítulos en los que desarrolla su sistema de diseño ambiental.

Porque se trata de un libro que, pese a haber sido escrito poco después de la mitad del siglo, continúa siendo perfectamente válido casi cuarenta años después, cuando, hacia el final de la centuria, nos hace reflexionar sobre las incertezas de la sociedad en que nos movemos y nos ofrece aproximaciones firmes hacia una mejor arquitectura.

A un nivel más personal, los que tratamos e intentamos difundir estos temas en la arquitectura, agradecemos que por fin se hayan realizado estas traducción y edición. Estamos seguros de que ello no ha sido empresa fácil, ni para el editor, ni para el traductor, pero con este texto dispondremos en muchos países del mundo de una herramienta auxiliar para la docencia de la arquitectura que, como sucede con los buenos productos, mejora con los años.

El libro de Olgyay se desarrolla en tres partes que se refieren, respectivamente: la primera, al clima y su relación con el ser humano; la segunda interpreta las acciones del clima en clave arquitectónica, y la tercera ejemplifica la aplicación de lo anterior en la arquitectura y el urbanismo. Estas tres partes van precedidas de un sabroso prefacio, y seguidas de densos anexos técnicos y de bibliografía. En su conjunto el libro desarrolla, especialmente en sus dos primeras partes, una completa teoría de diseño arquitectónico, autoconsistente, apoyada sólidamente en lógicas justificaciones teóricas y coherente con los principios físicos que afectan a los temas tratados.

A pesar de la división en tres partes que hemos comentado, el texto tiene en realidad una estructura lineal, donde los capítulos en-

lazan sucesivamente los temas planteados, hasta llegar a cerrar el método de diseño que propone el autor. De esta forma, aunque el libro es, en parte, compendio de otros trabajos anteriores realizados por Victor, o por Victor y Aladar Olgyay, el resultado final acusa muy poco este hecho, siendo insignificantes los lógicos desequilibrios que se encuentran al comparar el tratamiento de capítulos sucesivos.

Entre los diferentes aspectos contenidos en los cuatro capítulos que componen la primera parte del texto, el autor explica cómo se puede hallar un método que sustituya a los laboriosos y lentos procesos de "prueba y error" propios de la arquitectura popular, reemplazándolos por un análisis científico que se apoye en la biología humana, la meteorología y la ingeniería. De esta forma, aunque el cientifismo latente en estas manifestaciones pueda resultar algo ingenuo, el propio autor demuestra más adelante la validez de su propuesta, aplicable al diseño arquitectónico sin necesidad de disfrazarla con rigideces científicas.

Uno de los logros más importantes de esta primera parte es la presentación del gráfico de confort (también conocido como gráfica bioclimática o ábaco bioclimático), que lleva desde entonces su nombre y que relaciona, para ambientes exteriores, la temperatura del aire y su humedad relativa en las zonas de confort de invierno y de verano, así como las correcciones por radiación, velocidad del aire o humidificación que pueden ampliar esta zona de confort.

Este gráfico es una herramienta fundamental que desde su formulación se ha utilizado para analizar todo tipo de situaciones climáticas en la arquitectura. Esta herramienta es quizás la obra más conocida de Olgyay, y ha sido tantas veces utilizada, que con frecuencia se olvida algo que el autor remarca en su libro: que las condiciones definidas son aplicables a las zonas templadas de Estados Unidos, y que su utilización para otras zonas requiere correcciones adecuadas.

De esta forma, en climas no temperados como los que trata básicamente el autor, hay

que considerar la zona de confort desplazada 2 o 3 grados centígrados respecto a la presentada, hacia temperaturas más bajas en el caso de regiones frías y hacia temperaturas más altas en el de las cálidas.

Con estos cuatro capítulos Olgyay presenta, de forma coherente y global, las relaciones entre el clima y el ser humano, con ciertas referencias arquitectónicas que no son más que un adelanto de lo que desarrolla con más profundidad en la segunda parte, o sea, los principios arquitectónicos aplicables según las condiciones del clima.

En esta segunda parte se tratan los temas de diseño arquitectónico en un recorrido que va desde lo más general (o lo más temprano en el proceso de proyectación, que viene a ser lo mismo), hasta lo más particular. Comienza de esta forma con la elección del lugar; trata de la orientación, el control solar; la forma y el entorno, los efectos del viento y acaba con los materiales. No es exactamente una secuencia completa de temas de diseño arquitectónico y a veces cae en el desarrollo de detalles más propios de un anexo, pero en conjunto resulta muy adecuado como análisis proyectual, especialmente si tenemos en cuenta la época en que fue escrito.

En toda esta parte, como ya hemos apuntado antes, el autor se está refiriendo a las zonas climáticas identificadas en EEUU, pero los criterios que señala son de aplicación válida para todo el mundo (realizando los cambios de orientación pertinentes para el hemisferio sur). Se muestran en el texto unos gráficos de tipologías arquitectónicas también muy conocidos y utilizados, aunque debe tenerse en cuenta que la derivación hacia el este que propone el autor a partir de la óptima orientación al sur puede ser contraproducente en algunos casos (climas con nieblas matutinas en épocas frías, tipos constructivos con alta inercia en los cerramientos, etc.).

Cuando en el libro se plantea la relación que existe entre la forma de un edificio y su funcionamiento según el ambiente que lo ro-

dea, y se describen los impactos de las fuerzas del entorno sobre el edificio, se culmina con la presentación de las "formas ideales" para un clima determinado. Se trata, pues, de unas propuestas quizás demasiado rígidas para la complejidad de la arquitectura real, pero que, a pesar de ello, tienen un excelente valor como ejemplos de respuesta desde el diseño a los parámetros ambientales.

Otro punto interesante son las explicaciones sobre el funcionamiento de los movimientos del aire en la arquitectura, donde todos los principios que se exponen serían directamente aplicables hoy en día, ya que en este tema se ha avanzado muy poco. Como se trata de unos principios muy importantes en condiciones de calor húmedo, este es el caso que trata básicamente el autor; pero debe remarcarse que dicho tema también es de interés para otras condiciones climáticas.

En el tratamiento de los temas de aislamiento, el libro destaca la importancia de la orientación o situación de dicho aislamiento. Este último aspecto, que todavía hoy en día no se realiza juiciosamente, resulta interesante constatar que ya lo indicaba el autor hace muchos años.

Con el fin de la segunda parte termina la exposición temática principal del texto, que para nosotros tiene su pleno sentido como ampliación y aplicación del novedoso enfoque presentado en la primera parte. En la tercera parte el autor tiende a centrarse más en el análisis de casos o ejemplos arquitectónicos a los que se aplican los temas anteriores.

En esta tercera parte se trata el tema del cálculo del comportamiento térmico de la construcción; el autor pone en duda la precisión de cualquier sistema de cálculo, pero con buen criterio reafirma, a pesar de ello, su validez para el diseño. Más adelante explica un nuevo método para el "proyecto heliotérmico", introduciendo el concepto de edificio tipo (casa ortodoxa), como elemento comparativo que permite deducir la bondad de un diseño según la zona de que se trate.

Otro elemento importante que aporta esta parte es la de incorporar un punto de vista urbanístico mediante la definición de las posibilidades de implantación, en un enclave teórico, de un esquema de ordenación urbana, y la adaptación del diseño para cada una de las regiones climáticas. Se trata de una ejemplificación muy explicativa, que puede ayudar a realizar el salto de la teoría a la proyectación arquitectónica; aunque no aporta conceptos nuevos a los tratados, los esquemas resultantes han sido también ampliamente difundidos en trabajos y bibliografías sobre el tema.

El libro se completa con unos apéndices técnicos, los primeros de ellos, incluidos en el apéndice A, presentan fórmulas y tablas para el cálculo de los principales parámetros térmicos de la arquitectura. El apéndice B, en cambio, presenta y describe la construcción de una herramienta nueva de ayuda al proyecto, el Termoheliodon. Esta herramienta, que sirve para analizar la incidencia del sol sobre un edificio, está descrita con especial detalle en el texto. Creemos que en la práctica no queda hoy justificada, dado su elevado costo de instalación en relación a los resultados que ofrece. Cualquier programa de ordenador que trabaje en 3D permite análisis más eficientes, e incluso la improvisación de una maqueta con un punto de luz colocado en la dirección adecuada, puede resultar suficiente para realizar este análisis de asoleo de un edificio.

Hemos de admitir, después de analizar totalmente la obra capital de Victor Olgyay, que si la validez de este libro se ha mantenido a través del tiempo hasta la actualidad, es porque los principios realmente válidos de la ar-

quitectura nunca pasan de moda. Por este motivo, aunque hoy disponemos de métodos de cálculo mucho más elaborados, de los recursos técnicos que nos facilita la informática, con programas de evaluación energética de edificios rápidos y de fácil utilización, de materiales y soluciones constructivas experimentadas en laboratorios con buenos rendimientos energéticos, de económicos aparatos de medición ambiental y de la experiencia de más de 25 años de realizaciones en todo el mundo de edificios proyectados con la pretensión de obtener un buen comportamiento energético, constatamos con alegría que el libro de Olgyay continúa siendo plenamente útil.

Los principios básicos que en él se enuncian, así como los procesos de diseño que se recomiendan, son aplicables directamente a cualquier proyecto actual. Las técnicas quizás han cambiado y las formas aparentes de la arquitectura también, pero hay algo más profundo: la relación íntima entre un edificio y su entorno, que no cambia ni cambiará nunca. Aunque los arquitectos olvidemos que existe esta relación, en la arquitectura, de una u otra forma, esta relación continuará estando presente.

Es un orgullo para mí presentar hoy este texto, a la vez que un compromiso que no creo poder resolver satisfactoriamente, quizás porque me siento demasiado involucrado en su contenido. A pesar de ello, en cualquier caso el libro está aquí y sólo queda recomendar, una vez más, una atenta lectura, para que ello contribuya a mejorar, poco a poco, nuestra arquitectura.

RAFAEL SERRA FLORENSA
Septiembre de 1996

PRÓLOGO Y AGRADECIMIENTOS

El control del entorno y la creación de condiciones adecuadas a sus necesidades y al desarrollo de sus actividades son cuestiones que el hombre se ha planteado desde sus orígenes. A lo largo del tiempo, los hombres han buscado, en la construcción de sus refugios, satisfacer necesidades humanas básicas: la protección ante los elementos y la provisión de un espacio dotado de una atmósfera favorable para el recogimiento espiritual.

El diseño de la vivienda a lo largo de la historia refleja las diferentes soluciones adoptadas en cada período frente al problema de proveerse de un entorno pequeño y controlado, dentro del amplio espacio natural, generalmente castigado por factores adversos tales como el frío, el calor, el viento, las lluvias y el sol.

Cada época parece tener su propia filosofía en lo referente al diseño del hábitat; el pasado nos brinda una rica y amplia experiencia simbolizada en las diferentes moradas del hombre. Esto se encuentra perfectamente documentado, ya que la cristalización de los conceptos arquitectónicos de un determinado período es el fiel espejo donde se reflejan sus pensamientos y sentimientos particulares.

Los patrones arquitectónicos propios de la civilización occidental han desatendido con demasiada frecuencia los problemas y soluciones inherentes a los edificios de regiones y climas distantes y diferentes. Con el amplio despliegue de las comunicaciones y de los movimientos poblacionales, se ha hecho necesario desarrollar un nuevo principio arquitectónico capaz de combinar soluciones tradicionales con nuevas tecnologías para comprender mejor los efectos del clima en el entorno humano.

Este libro quiere demostrar la influencia del clima en los criterios constructivos. Hasta el momento, la arquitectura se ha guiado por un subjetivo proceso de ensayo y error; evidenciándose la necesidad de adoptar técnicas

de análisis razonado para madurar adecuadamente en este sentido.

Para enfrentarse al problema del control climático, de una forma ordenada y sistemática, es necesaria la unificación de esfuerzos procedentes de diversas disciplinas científicas. El primer paso consiste en definir el grado y la medida de bienestar requeridos. La respuesta a esta incógnita se encuentra en la biología. El siguiente consiste en revisar las condiciones climáticas existentes, lo cual dependerá de la ciencia de la meteorología. Por último, y en la búsqueda de una solución racional, prevalecerá el papel de las ciencias de la ingeniería. Con toda esta ayuda, los resultados pueden sintetizarse y adaptarse a la expresión arquitectónica.

Algunos arquitectos pueden considerar que este libro es demasiado detallado para su utilización inmediata en el diseño. Ciertos científicos pueden hallar sus campos de investigación representados de forma poco adecuada. Pero es mi esperanza que, con el establecimiento de puentes de comunicación entre estas diferentes disciplinas, el presente estudio pueda combinar aspectos tanto creativos como analíticos para desarrollar un concepto arquitectónico unificador.

Mi interés particular en los efectos del entorno se desprende de mi trabajo como arquitecto especialista en la preparación de diseños experimentales de edificación. El contenido presentado en este libro es el resultado de las investigaciones realizadas durante los últimos ocho años. Para su elaboración se ha contado con financiación de la Agencia Federal de Financiación de la Vivienda, con una beca de la Fundación Simon Guggenheim y con el apoyo de los Fondos de Investigación de la Universidad de Princeton. La realización final se llevó a cabo en el Laboratorio Arquitectónico de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Princeton.

En este punto, y en primer lugar, desearía

rendir tributo a mi hermano Aladar Olgyay, quien participó conmigo en muchos de estos trabajos. Los años que pasamos juntos en la investigación de este tipo de problemas fueron fructíferos y productivos. Su trabajo versaba principalmente sobre el tema del control solar, pero muchas de sus reflexiones y varios gráficos y dibujos desarrollados por él aparecen en capítulos de este libro. Sin embargo, debo decir que, para pesar mío, sus posteriores intereses se decantaron hacia otros problemas arquitectónicos. De haber continuado con su participación, el trabajo aquí presentado habría sido más completo en muchos aspectos.

A medida que el trabajo avanzaba se publicaron informes de las diferentes fases. El primer artículo, en el que se explicaba el método a seguir fue "The Temperate House" (1951)¹, seguido de otros trabajos acerca de "Bioclimatic Approach to Architecture"² y "Solar Control and Orientation to Meet Bioclimatical Requirements"³ (1952), una edición más completa que trataba la "Application of Climate Data to House Design"⁴ (1954). Posteriormente, sucesivos artículos sobre "Sol-Air Orientation"⁵ y acerca de "Environment and Building Shape"⁶ (1954) y, finalmente, en 1957, la publicación de *Solar Control and Shading Devices*⁷. Este último constituye, abreviadamente, uno de los capítulos de este libro y, al igual que los artículos anteriores, fue concebido dentro del contexto general de la presente publicación.

Este trabajo ha sido inspirado en algunas ocasiones por el interés de problemas no resueltos y en otras por la provocación de opiniones controvertidas. Me siento en deuda directa o indirectamente con muchas fuentes y autores: el impulso inicial del Dr. Paul Siple, las discusiones con la Dra. María Telkes, los consejos de C. P. Yaglou, los comentarios del Dr. Douglass H. K. Lee, las reuniones con los miembros del Comité Asesor del Instituto de Tecnología de

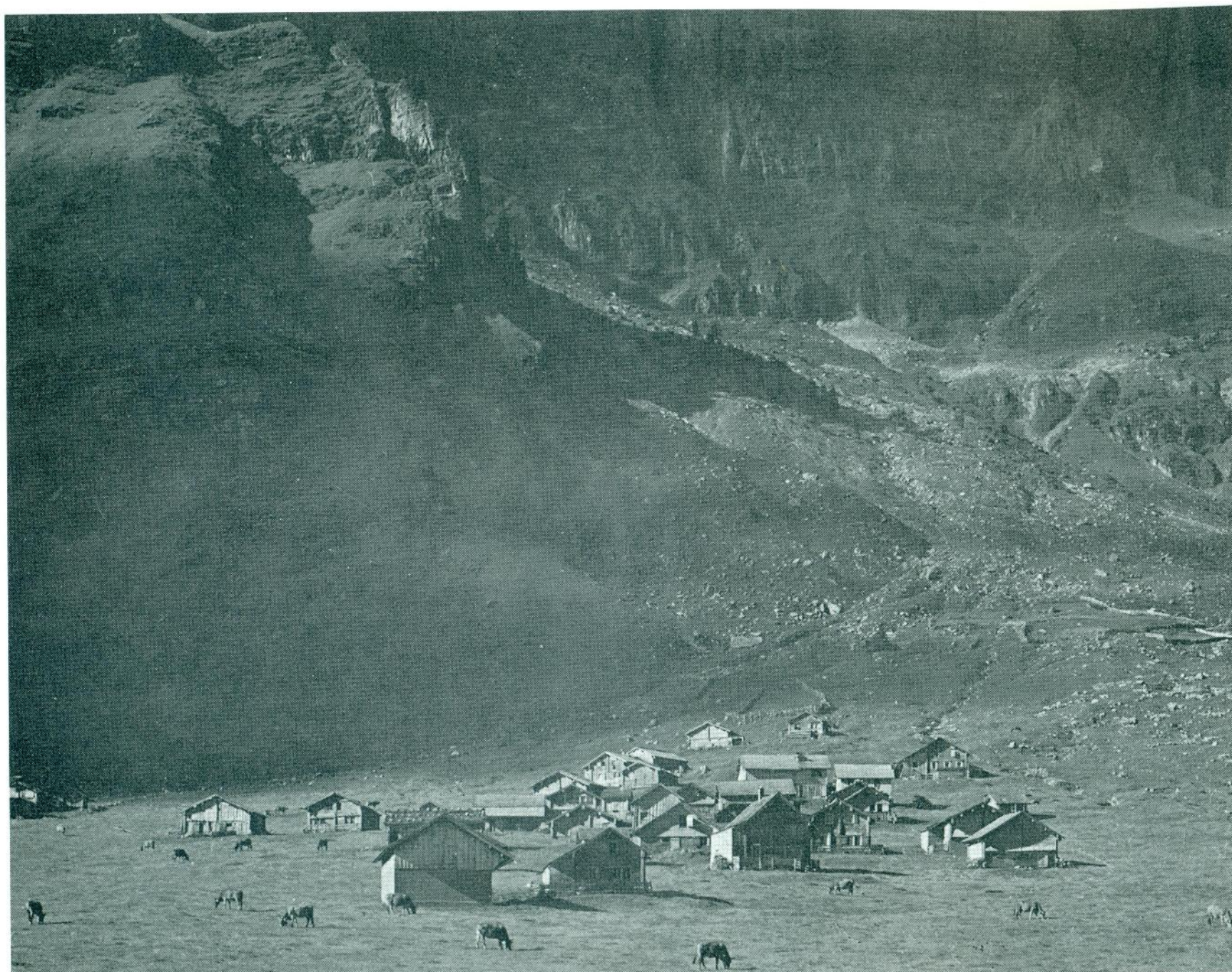
Massachusetts, M. I. T., el libro de James M. Fitch, *American Building: the Forces That Shape It*⁸, el análisis de Ernst Egli en su libro *Climate and Town Districts, Consequences and Demands*⁹, la metodología implementada en los experimentos realizados en Texas A. y en M. College, los gráficos climáticos publicados por el Instituto Americano de Arquitectos, y los datos y procedimientos de la Sociedad Americana de Ingenierías de Climatización y Ventilación. Todo esto sirvió de estímulo a lo descrito aquí. Sin embargo, las mencionadas son solamente algunas de las numerosas ayudas, críticas y datos que han contribuido a la formalización y organización conceptual del material.

A pesar de no poder expresar aquí todos los agradecimientos debidos, me gustaría darle las gracias particularmente a Robert W. McLaughlin, Director de la Escuela de Arquitectura de Princeton, quien, con su comprensión y entusiasmo, hizo posible que este trabajo se publicara en su forma actual. Asimismo, mi agradecimiento por sus beneficiosas sugerencias y ayudas a Francis A. Comstock, Director Asociado de la Escuela de Arquitectura, quien desempeñó la pesada labor de corrección del manuscrito; a Donlyn Lyndon por su ayuda en la disposición y organización de todo el material; y a numerosos estudiantes y visitantes de la Universidad que colaboraron en diferentes etapas del proceso de investigación, especialmente Peter Kovalsky, Robert W. Heck, Philemon Sturges, Charles Hilgenhurst, Lutfi Zeren, y Dominique Gampert.

Esperamos que las tesis aquí presentadas abran nuevas lecturas de la relación entre el entorno climático y la vivienda, y que contribuyan, asimismo, a arrojar luz sobre algunos principios arquitectónicos muy debatidos.

VICTOR OLGAY
Princeton, 1962

Parte 1
INTERPRETACIÓN CLIMÁTICA



1. Urner Boden, Suíza Central.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

LA TIERRA Y LA VIDA

El espectro total de la esfera terrestre abarca desde el rigor de los fríos azules hasta la opresión de los tórridos rojos, solamente los sossegados tintes verdosos intermedios pueden asociarse con la vida. Las heladas zonas blancoazuladas de las regiones polares se entremezclan con un tono pardoverdoso allí donde la vegetación despunta en la tundra. Esta incipiente manifestación, abre el camino hacia un cinturón vegetal de color verde profundo constituido por las plantas coníferas de la zona fría, que continúa hacia el sur destacando áreas de árboles frondosos propios de las zonas fértiles más templadas. Un poco más abajo, las latitudes medias más cálidas se caracterizan por la presencia de zonas desérticas rojizas escasamente pobladas hasta, finalmente, sumergirse en el verdor exuberante de la vegetación permanente del cinturón ecuatorial.

Rodeados por océanos, el relieve de las grandes masas continentales queda definido por altas montañas, profundos valles, planicies y mesetas, amenizados por surcos de ríos y redes de torrentes y lagos. Subterránea o superficialmente descansa el lecho de abundantes o escasos abonos y minerales que hacen la vida próspera o infecunda.¹

Existe, sin embargo, una disciplina que rige toda esta complejidad. El ciclo del globo terrestre, con su latido interno de días y noches, regula la actividad y el reposo de la vida natural. La rotación inclinada de la tierra alrededor del sol marca el ritmo de las estaciones, que despiertan a la dormida vegetación para donar la dádiva de sus cosechas. La distancia relativa al ecuador determina principalmente el que una localidad sea fría o cálida, pero es

el sol, con su imperativa regularidad, el que marca los patrones de humedad y viento que se extienden por la superficie terrestre.

Las características del entorno físico se encuentran arrojadas por un vasto océano de aire, cuyas corrientes arrastran elementos climáticos a todas las partes del mundo, modificándolas en cada fase. El clima no solamente juega un importante papel en la composición del subsuelo, sino que también afecta profundamente a las características de las plantas y de los animales en las diferentes regiones y –lo más importante desde nuestro punto de vista– a la energía del hombre.²

Desde el momento en que la vida aparece entre los aspectos más recónditos de las leyes naturales, se encuentra, para bien o para mal, regida por estas normas que la obligan a un ajuste íntimo con su origen natural. El asentamiento es neutro; éste puede ser un ambiente amable o cruel, pero todas las especies vivas deben adaptar su fisiología a través de la selección natural o la mutación, o encontrar defensas apropiadas para enfrentarse a los impactos ambientales.

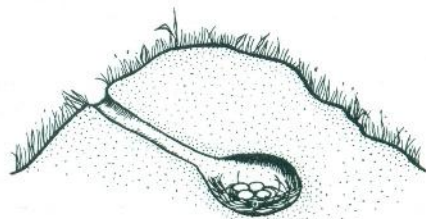
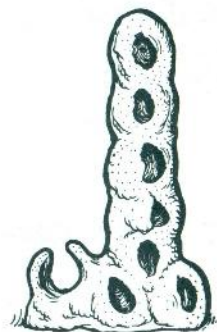
LA VIDA ANIMAL Y SU REFUGIO

La flexibilidad y la capacidad física de adaptación del hombre es relativamente débil comparada con la de los animales; éstos poseen defensas naturales contra un amplio espectro de climas desfavorables. Así, por ejemplo, para combatir el peligro de la sequía, los animales disponen de diferentes armas, y para mitigar el impacto de un calor excesivo desarrollan una alta transpiración. El oso, en climas fríos, reduce su metabolismo con el sueño. El mur-

ciélago puede sobrevivir a un cambio de temperatura en su cuerpo de 60 grados. El elefante puede enfriar su sangre moviendo sus orejas con estructura de panal. En cuanto llega el frío, el visón desarrolla un nuevo abrigo de piel. En los territorios hostiles del desierto muchos animales alteran su ritmo de vida, viven durante la noche y se cobijan, enterrándose, durante el día. Algunas especies roedoras emplazan sus madrigueras muy prudentemente en relación con el agua y el viento.

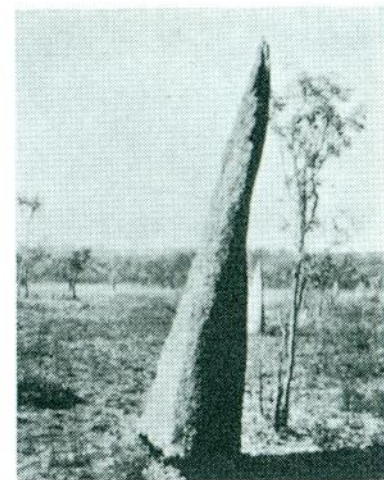
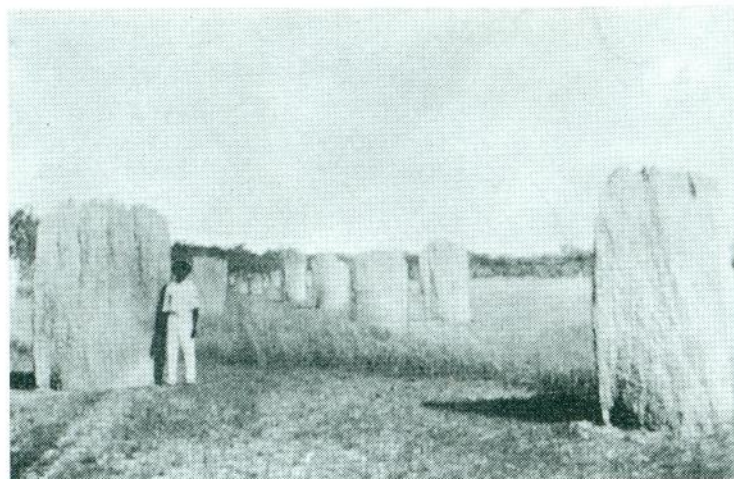
Los pájaros regulan el aislamiento térmico de su cuerpo atrapando burbujas de aire entre sus plumas ajustables. Cuando las dificultades son excesivas se trasladan a ambientes donde la comida y la temperatura son más favorables para su existencia. Los pájaros, durante su estancia en un lugar, no desarrollan completamente su capacidad de adaptación, sino que acrecentan su habilidad para la construcción de sus refugios con un instinto innato para enfrentarse al entorno. La variedad de formas y delicados patrones, proporcionan ejemplos ilustrativos de una reconciliación intuitiva con las fuerzas de la naturaleza.

Los nidos abiertos aseguran una buena calidad de aislamiento; los nidos colgantes, en forma de péndulo, aprovechan la capacidad de soportar tensiones de las fibras o hierbas para adaptarse a los embates del viento. El nido macizo, fabricado con arcilla y paja y con una pequeña abertura de entrada, previene de la intrusión directa del sol y de la lluvia. El nido vertical de barro y paja es similar a un edificio de apartamentos, cada abertura es un nido individual con dos habitáculos. El primero hace las veces de recibidor y en el segundo se encuentran los huevos y el área de incubación. Esta configuración tan especial evita los rayos



2

2. Adaptación de los nidos de pájaros al impacto climático.



3. Vistas este (izquierda) y sur (derecha) de los nidos de termitas.

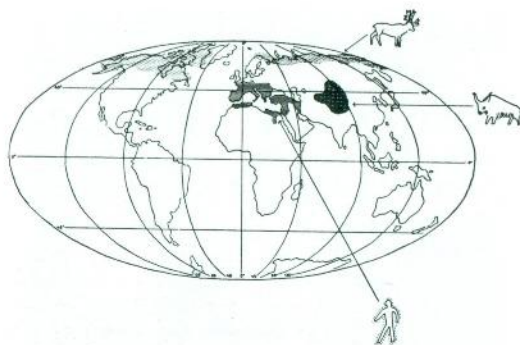
directos del sol y minimiza los efectos de las precipitaciones. La masa de tierra mitiga las diferencias de temperatura extremas, proporcionando unas condiciones térmicas más estables. Cada solución representa una manera, en diferentes versiones, de enfrentarse a los elementos climáticos del entorno.³

Las edificaciones colectivas del mundo de los insectos superan estos esfuerzos individuales en la fabricación de un refugio adecuado. Los hormigueros varían según el lugar donde se encuentren; en las regiones templadas se sitúan frecuentemente en las laderas orientadas hacia el suroeste, desarrollándose a lo largo de un eje noreste-suroeste para aprovechar la calidez de la mañana.⁴ En cambio, en el trópico, las enormes edificaciones de las *Hamitermes meridionalis* (termitas circundantes) tienen forma laminar y se orientan hacia el norte. Las exposiciones a este y oeste proporcionan una temperatura uniforme y, al igual que en la mayoría de las construcciones atrinchera-das, la gran masa de tierra estabiliza la escala calórica.⁵ Sus torres son inmensas, alcanzando 400 veces la longitud de su cuerpo (10 mm), lo cual, traducido en términos humanos, equi- vale a 731,5 metros.

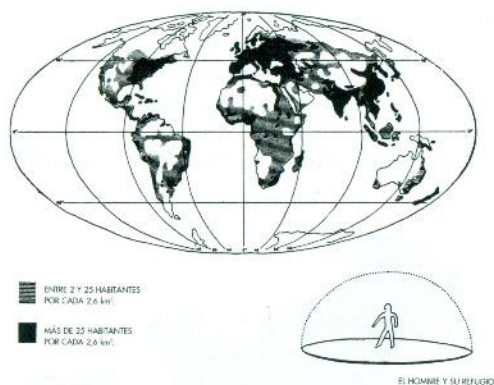
REFUGIO Y VIDA HUMANA

La raza humana encuentra en su entorno las mismas dificultades que el conjunto de la fauna. Desde Aristóteles hasta Montesquieu, numerosos estudiosos creían que el clima producía ciertos efectos en el temperamento y la fisiología humana. Estudios recientes han centrado su interés en la relación entre la energía humana y el ambiente. Ellsworth Huntinton ha sentado la hipótesis de que el tipo de clima, junto con la herencia racial y el desarrollo cultural, constituyen uno de los tres principales factores que determinan las condiciones de la civilización.⁶ De acuerdo con su teoría, el hombre, que aparentemente es capaz de vivir en cualquier lugar donde pueda obtener alimento, solamente puede alcanzar el mayor desarrollo de su energía física y mental (e incluso de su carácter moral) en unas condiciones estrictamente limitadas. Según sus postulados, las condiciones climáticas óptimas para el progreso humano son:

1. La temperatura media debe oscilar entre los 4,4 °C en los meses más fríos hasta alrededor de los 21,1 °C en los más cálidos.



4. Primeros hábitats históricos del hombre y de los animales.



5. Densidad actual de la población mundial (1963).

2. Tormentas o vientos frecuentes, para mantener la humedad relativa un poco elevada, excepto en épocas muy calurosas, y proveer lluvia en todas las estaciones.
3. Una sucesión constante de tormentas ciclónicas no demasiado severas como para ser peligrosas, pero sí útiles para producir cambios moderados frecuentes en la temperatura.

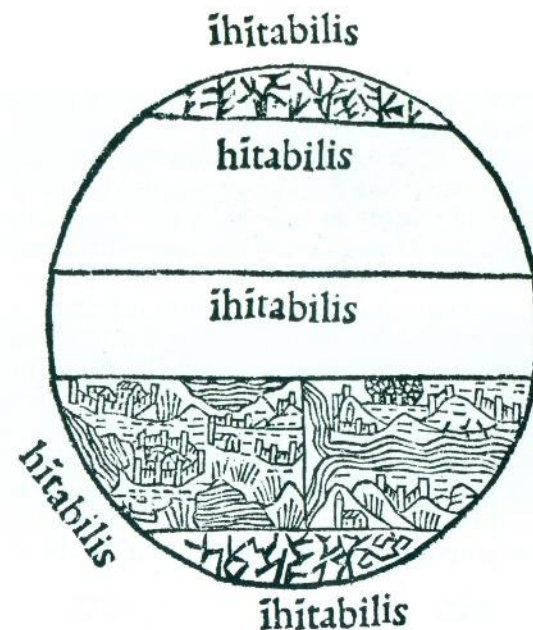
Otro investigador contemporáneo, Julian Huxley, relaciona la historia humana con el clima, analizando las coincidencias entre las



6. Zonas climáticas según Macrobio.

primeras civilizaciones y épocas húmedas o de sequía.⁷ Según su teoría, los efectos biológicos y económicos originados por cambios en las bandas climáticas mantienen el equilibrio de las poblaciones. Cuando una de estas alteraciones ocurre, se producen las migraciones y, con ello, no solamente las guerras, sino también un enriquecedor intercambio de ideas necesario para el rápido avance de la civilización.

La inventiva del hombre le ha permitido desafiar los rigores ambientales utilizando el fuego para calentarse y pieles para cubrirse. Cuando el más débil de entre los animales sustituyó el ingenio prometeico por la adaptación física similar a la de otras especies, el refugio se convirtió en la defensa más elaborada contra climas hostiles. Asimismo, le permitió ampliar el espacio de equilibrio biológico y asegurar un medio de productividad favorable. A medida que evolucionaba el refugio se acumulaban experiencias que, con ingenio, se diversificaban para afrontar los retos de la gran variedad de climas.



7. Regiones climáticas según Sacrobosco.

ADAPTACIÓN DEL REFUGIO AL CLIMA

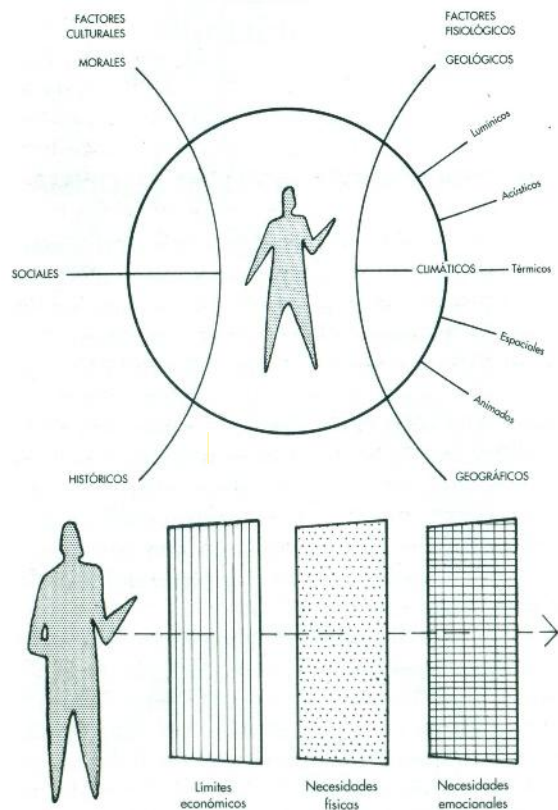
Virgilio escribió: "El cielo posee cinco zonas, una de las cuales siempre está roja y ardiente por el resplandor del sol."⁸ Sacrobosco, en su *Sphaera Mundi*, proyectó estas cinco zonas celestiales en la tierra, y coincidía con la idea de que la parte central era inhabitable "debido al fervor del sol... Pero esas dos zonas..., cerca de los polos de la tierra, son inhabitables debido al intenso frío, ya que el sol se encuentra muy alejado de ellas."⁹ Por lo tanto, concluía que solamente las zonas templadas son aptas para la vida civilizada, y la mayor parte del mundo clásico coincidía con él.

Sin embargo, los antiguos reconocían que la adaptación era un principio esencial de la arquitectura. Vitruvio dijo en *De Architectura*:¹⁰ "El estilo de los edificios debe ser manifiestamente diferente en Egipto que en España, en Pontus y en Roma, y en países y regiones de características diferentes. Una parte de la tierra se encuentra abrumada por el sol en su recorrido; otra, se encuentra muy alejada de él; y por últi-

mo, existe una afectada por su radiación pero a una distancia moderada.”

En el pensamiento arquitectónico contemporáneo existen numerosas aproximaciones tanto desde la psicología humana como desde la estética. La interpretación del clima como factor principal es justificable, solamente, si el entorno climático influye directamente en la expresión arquitectónica. El Dr. Walter B. Cannon sostenía que: “El desarrollo de un equilibrio térmico estable en nuestro edificio debe observarse como uno de los más valiosos avances en la evolución de la edificación.”

Esta tesis puede confirmarse al observar las diversas formas de vivienda desarrolladas por grupos de origen étnico similar, estableci-

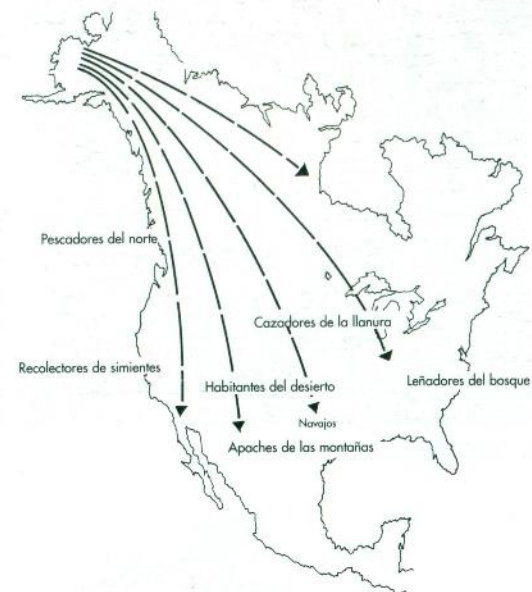


4 8-9. Factores que influyen en la expresión arquitectónica.

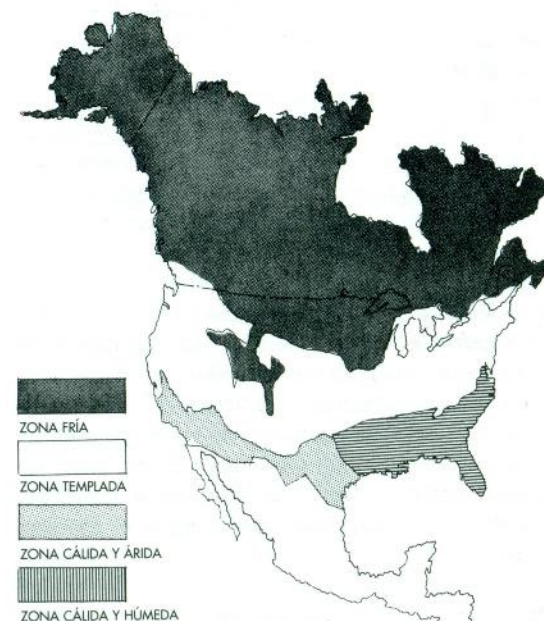
dos en regiones climáticas diversas. Actualmente, se acepta que los indios americanos proceden de Asia y que sus oleadas migratorias a través del estrecho de Bering establecieron sus poblados desde un extremo a otro de norte a sur de América. Tan pronto se esparcieron por norteamérica, los indios se encontraron con una amplia variedad de entornos climáticos, desde los fríos polares de los territorios del norte, hasta las áreas más cálidas del sur; desde las áridas zonas del oeste hasta las partes húmedas del sureste.

Las tribus que se asentaron en la zona gélida encontraron un frío extremo y poco combustible. Ante estas circunstancias, la conservación del combustible se convirtió en algo esencial, los refugios adoptaron una forma muy compacta, con un mínimo de exposición superficial. El iglú esquimal es una solución, muy conocida, al problema de supervivencia en temperaturas gélidas. Estos refugios bajos y de forma semiesférica desvían los vientos y aprovechan el factor aislante de la nieve que los rodea. La suave capa de hielo que se forma en la superficie interior del iglú es un sello muy efectivo que impide que se cuele el aire. Los túneles de salida de estos refugios se orientan desviados de la trayectoria del viento para evitar las corrientes y el escape del aire templado. La retención de calor de este tipo de estructuras hace posible mantener una temperatura interior de $15,56^{\circ}\text{C}$ cuando en el exterior se alcanzan los $-45,56^{\circ}\text{C}$. Estas estructuras suelen calentarse con una pequeña lámpara y el calor humano.

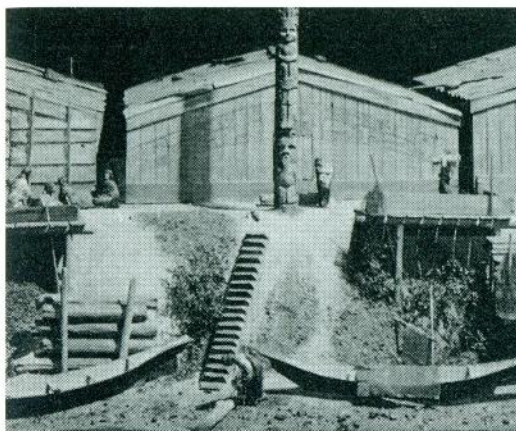
Las tribus establecidas en British Columbia, en la costa del Pacífico, se encontraron con un clima menos extremo, sin embargo, la necesidad acuciante de conservar el calor continuaba presente. Para resolver este problema los indios adoptaron una solución de vivienda comunal, tal como muestra la estructura de las viviendas de los indios Kwakiutl. Las estancias de estas tribus se unían con objeto de reducir la superficie de exposición. Estos grandes refugios, contruidos con tablonos y maderas, tenían una doble piel que proporcionaba una cá-



10. Difusión de grupos migratorios de indígenas.



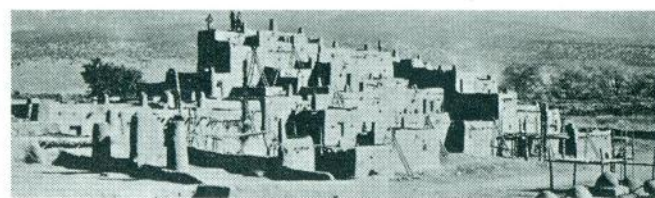
11. Regiones climáticas del continente norteamericano.



12. Zona fría.



13. Zona templada.



14. Zona cálida-árida.



15. Zona cálida-húmeda.

mara de aislamiento térmico y un pasillo cerrado que comunicaba las unidades familiares, utilizado principalmente durante los crudos meses de invierno. En verano, el cerramiento exterior podía retirarse incrementando así la ventilación. Asimismo, y para beneficio de toda la comunidad, se colocaban hogares-chimenea en cada departamento individual a lo largo de un pasillo central, creando una fuente concentrada de calor. En la cuenca de Mackenzie, los refugios se construían con madera y corteza de los árboles, sus tejados eran inclinados, con postes anclados a la cubierta para retener la nieve como elemento aislante.

La zona templada, con un clima natural más favorable, exigía menos condicionantes térmicos a sus habitantes, lo cual se tradujo en una mayor libertad y diversidad en las viviendas de estas tribus. A diferencia de las casas comunales de los grupos del Pacífico, las aldeas de los habitantes de los bosques y planicies se organizaban de una forma más libre y esparcida, con unidades periféricas emergiendo en el paisaje que los rodeaba. La vivienda unitaria típica era el *wigwam*, que consistía en una estructura de postes dispuestos en forma cónica, cubierta con pieles para protegerse del viento o la lluvia y calentado con una única

fuentes de calor. Podía transportarse fácilmente, cualidad esencial para las migraciones.

Por contraste, el asentamiento en zonas áridas muy calurosas suponía unos fuertes condicionantes en la construcción de las viviendas. Caracterizadas por un calor excesivo y un asoleo inclemente, se requiere que el refugio esté diseñado de forma tal que reduzca el impacto del calor y proporcione sombra. Las tribus del suroeste, al igual que las del norte, construían generalmente estructuras comunitarias para protección mutua –en este caso del calor–. Las paredes y los techos de las edificaciones, tales como las del pueblo de San Juan, se realizaban en adobe. Este tipo de construcción proporciona un alto grado de aislamiento, dilatando el impacto calorífico durante muchas horas y permitiendo, como consecuencia, controlar las puntas de calor. Las ventanas son muy pequeñas y la agrupación de las viviendas, reduce la superficie de exposición. Estas organizaciones se ordenaban generalmente a lo largo de un eje este-oeste, reduciendo, durante el verano, el impacto del calor de la mañana y de la tarde a los dos muros de los extremos, y aprovechando, durante el invierno, el máximo asoleo del sur en los meses invernales, época en que el calor es bienvenido.

Por otra parte, las zonas cálidas-húmedas

presentaban dos problemas básicos a sus habitantes: escapar de la excesiva radiación solar y permitir la evaporación de la humedad a través de la ventilación. Para solucionar estos dos aspectos, las tribus del sur organizaban sus aldeas de forma que no se impidiera el movimiento libre del aire, y construían las viviendas de forma aislada entremezclándose con las sombras de la flora existente. Las tribus Seminolas erigían altos tejados cubiertos con hojas para protegerse del sol y arrojar grandes zonas de sombra sobre las viviendas; estas últimas no tenían paredes. La gran superficie e inclinación de los techos les protegían contra la lluvia; por otra parte, los suelos se construían separados de la tierra para permitir la circulación del aire y mantenerlos secos.

A partir de la observación de estas tipologías básicas utilizadas por los indios de Norteamérica en las diferentes regiones, resalta la gran habilidad que poseían estas tribus para adaptar sus refugios a las dificultades específicas de su entorno particular. La preocupación por el clima se encontraba inherentemente unida a la mano de obra para la solución de los problemas de confort y protección. Los resultados han sido expresiones constructivas con un fuerte carácter regional.

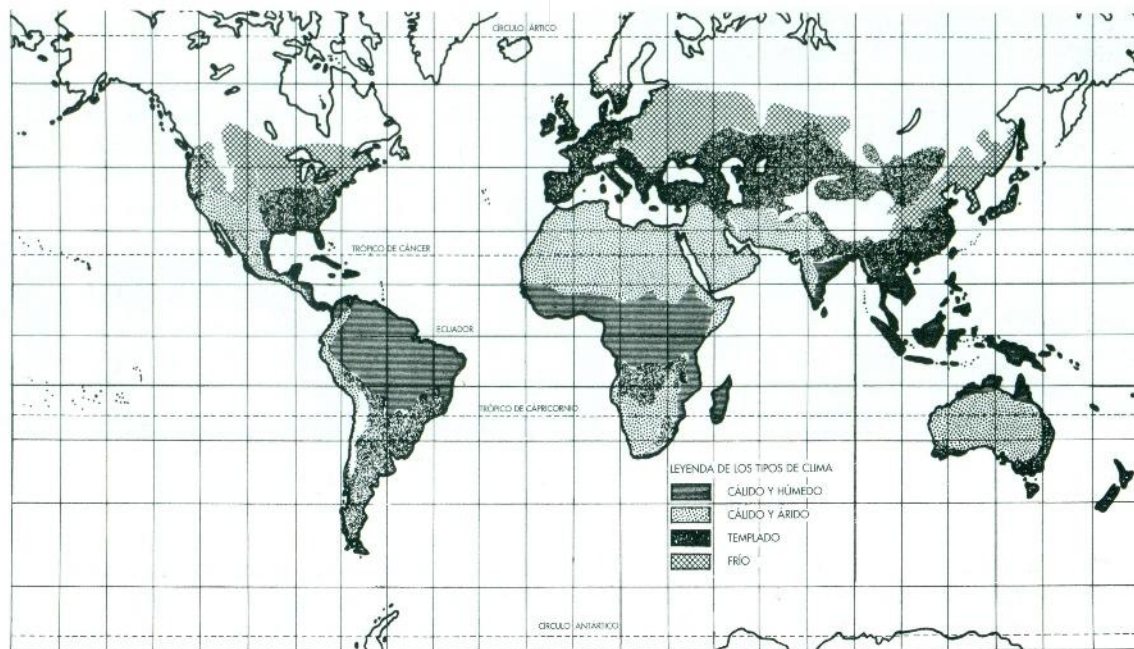
SIMILITUDES EN EL MUNDO

Aunque una evaluación exhaustiva se encuentra fuera del alcance de este libro, podemos señalar las zonas climáticas de la tierra. Existen numerosos sistemas para clasificarlas, siendo uno de los más utilizados el de W. Köppen. Adoptando como criterio la relación entre clima y vegetación, determina cinco zonas climáticas básicas: tropical-lluviosa, seca, templada, boscosa-fría y polar.¹¹ Otros autores tales como Trewartha modificaron esta división basándose en las líneas isotérmicas de los meses más fríos.¹² Debido a que una clasificación detallada no puede aplicarse directamente a la vivienda, presentamos aquí un gráfico simplificado basado en el sistema de Köppen.

Para los arquitectos, el "homoclima", o sea, las necesidades humanas, constituyen el factor determinante. Jean Dollfus, con su muestrario de viviendas características de todo el mundo, confirma que el principal objetivo de los constructores ha sido siempre la búsqueda de las condiciones óptimas de confort térmico. Según los resultados de sus análisis, concluye que la tipología constructiva se encuentra definida más por las zonas climáticas que por las fronteras territoriales. Aún existiendo variaciones, producto de la tradición o del gusto local, puede afirmarse que la forma general de la vivienda autóctona nace de su relación con el entorno.

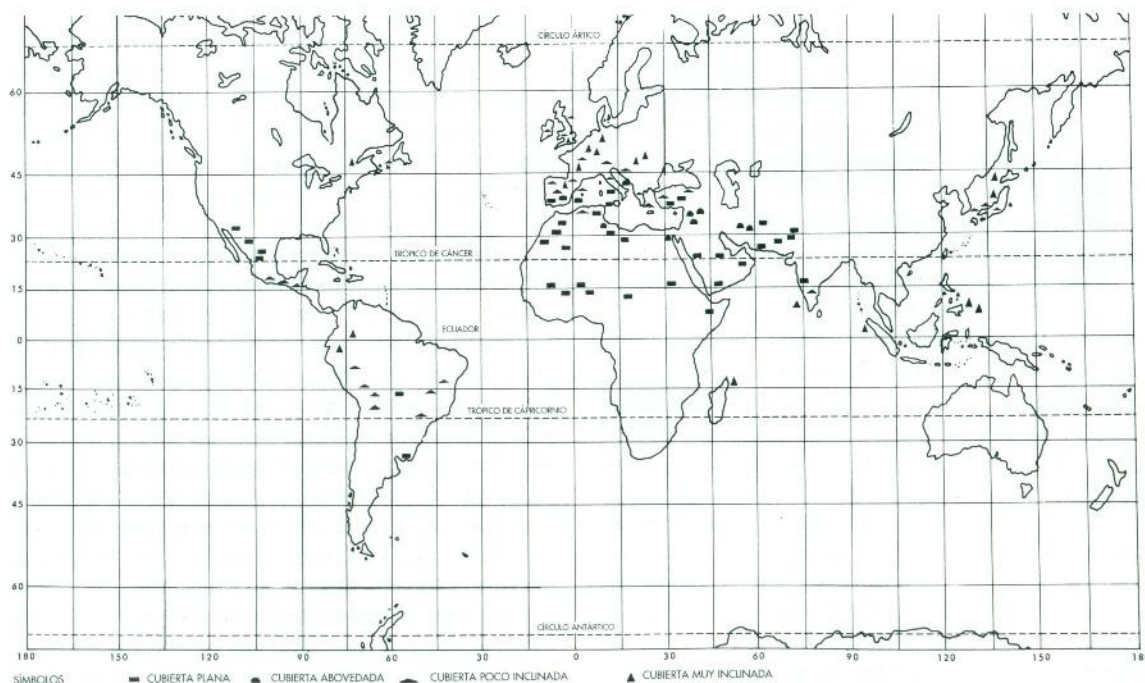
En una primera categoría, las grandes selvas de la zona ecuatorial y las sabanas tropicales (África, Asia monzónica, Australia, Polinesia, Amazonas), Dollfus pone de relieve la idea de que las cubiertas son más esenciales que las paredes, las cuales incluso pueden llegar a omitirse. En toda esta zona podemos encontrar "estructuras y construcciones de madera, ramas, entramados de paja y hojas de árboles".¹³

En las zonas frías boscosas del norte y en las regiones montañosas, desde el noroeste de Estados Unidos pasando por Escandinavia hasta los Himalayas, Dollfus agrupa las viviendas



16. Zonas climáticas.

17. Formas de tejados indígenas típicos



realizadas con estructura pesada de leños. Las cubiertas, en este caso, pueden ser también de madera, pero con poca inclinación para que la nieve acumulada actúe como aislante.

En la zona intermedia, las paredes suelen estar hechas de adobe y las cubiertas de paja (África occidental, Andes). En esta región también existen tribus nómadas que viven en tiendas hechas con pieles o con fieltros. No muy lejos de esta región existe una gran variedad de viviendas (Mauritania, Gobi, México) en las cuales las paredes tienen un papel protector más importante que la cubierta. En estas regiones, de áridas estepas y desiertos, "los muros se construyen de piedra o arcilla cocida, soportando una cubierta plana de arena".

Entre las dos áreas de climatología extrema, Dollfus divide la zona templada del norte según una línea a 45° N en Europa y a 30° N en América. Al sur de este límite, las paredes constituyen el principal elemento de la casa y están construidas de ladrillo o piedra, las cubiertas, ligeramente inclinadas, se cubren con tejas semicilíndricas (regiones mediterráneas, latinoamericanas y chinas). Al norte de la línea divisoria pueden encontrarse viviendas con muros de piedra y una gran cantidad de construcciones de madera con paneles rellenos de barro, ladrillos, piedras o incluso papel. Este tipo de edificación dispone de techos altos, formando un ángulo de 45° o más, cubiertos de paja o ramas.

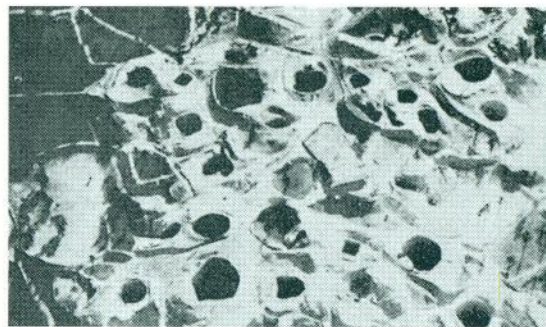
Otro aspecto significativo señalado por Dollfus es el siguiente: "La proporción entre macizo y aberturas al exterior depende tanto de la psicología popular como del clima y de los materiales empleados. En aquellas zonas de temperaturas extremas, aunque por razones opuestas –guarecerse del sol o del frío–, las perforaciones de los muros constituyen una pequeña proporción de toda la superficie. Generalmente, en la vivienda rural, los interiores tienen menos luz y ventilación que en las de la ciudad. [...] En las regiones del noroeste de Europa la sombra de las calles urbanas provoca una mayor necesidad de iluminación en las

viviendas, es ahí donde las ventanas alcanzan sus mayores proporciones".¹⁴

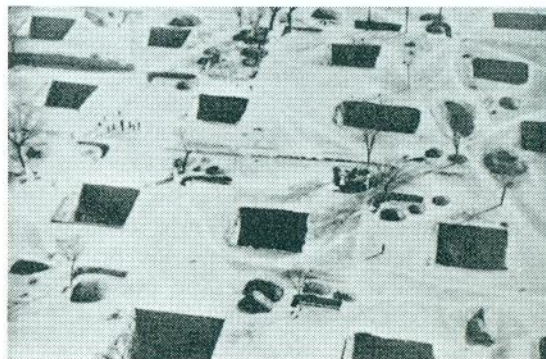
Es evidente que la cubierta es un elemento determinante, tanto en la forma general como en el aspecto de la vivienda regional. Existe una marcada correlación entre las zonas del mapa climático y las localidades en las que se da una tipología común de cubierta. Las cubiertas planas se encuentran en zonas calurosas, las abovedadas en regiones áridas y las inclinadas en los climas templados con veranos muy secos. Las tipologías con cubiertas inclinadas son comunes en territorios más húmedos y fríos.

Las formas redondeadas de las cubiertas abovedadas o cúpulas, se han atribuido a antiguos motivos filosóficos;¹⁵ en otras ocasiones se ha sugerido como justificación de las mismas la facilidad de moldear una cúpula primitiva utilizando un árbol como andamio, o también, que era una estructura conveniente en aquellos lugares donde escasean las vigas de madera de una cierta envergadura. Tanto las bóvedas como las cúpulas son muy populares en regiones áridas y calurosas con cielos despejados, donde el bajo nivel de humedad y la intensa radiación originan variaciones de temperatura extremas entre la noche y el día. Este hecho tiene una lógica básica descubierta, probablemente, a lo largo de siglos de experiencia: la envolvente de una cúpula semiesférica es aproximadamente tres veces la superficie de su base, de esta forma, la radiación del sol en su punto más álgido se diluye sobre la superficie redondeada, dando como resultado una temperatura superficial menor que, además, se va enfriando con el viento. La forma redondeada permite también la descarga nocturna de radiación, facilitando su enfriamiento. Esto puede verificarse especialmente en la obra de albañilería, ya que el material constructivo empleado conduce lentamente el calor asegurando unas condiciones térmicas equilibradas.

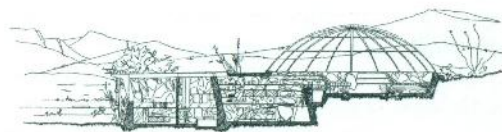
La importancia que adquiere el aislamiento en situaciones extremas, resueltas con destreza e ingenio, muestra cómo los conceptos



18. Asentamiento de trogloditas en Túnez.



19. Asentamiento subterráneo en China.



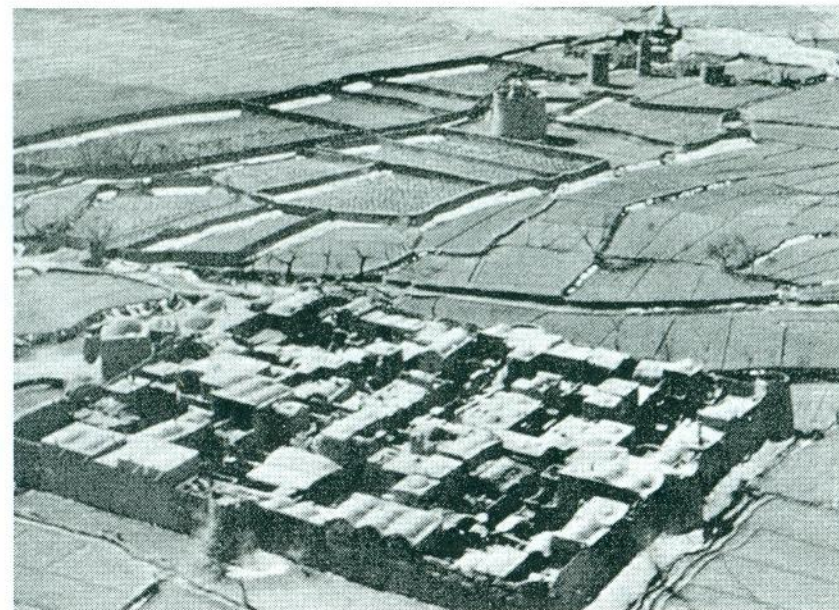
20-21. Casa Soleri en Arizona.

emergen bajo grandes tensiones de naturaleza similar. Hábitats muy alejados unos de otros pero con un denominador común: poca humedad, sol y calor intensos, encuentran una solución obvia y racional en las cavernas. Los trogloditas tunecinos de Matmata organizan sus recámaras subterráneas alrededor de un hueco central abierto, lo cual aparece en la superficie conformando un complejo patrón orgánico comunitario. La comunidad china de Honan, de mentalidad más geométrica, hunde sus viviendas entre 9 y 13,7 metros a partir del nivel de suelo y acceden a ellas a través de unas escaleras en forma de anzuelo. Ambas soluciones, aunque extremas, tienen su razonamiento lógico. Una capa de tierra bajo la superficie mantiene la temperatura en un nivel medio anual, proporcionando calor durante el invierno y frescor en verano. Este principio tiene numerosos seguidores que abogan por la vivienda en la litosfera. En regiones áridas y calurosas similares existen versiones contemporáneas que buscan el equilibrio térmico con esta idea, demostrando cómo los principios verificados a través del tiempo pueden integrarse y adaptarse a la tecnología actual.

Partiendo del análisis de ejemplos existentes encontramos una importante correspondencia entre características arquitectónicas y determinadas zonas climáticas. No es casualidad que grupos de diferentes continentes, creencias y culturas lleguen a soluciones similares en su lucha con entornos parecidos, y que hayan establecido características regionales básicas.

ASENTAMIENTOS COMUNITARIOS Y CLIMA

La primera impresión que se obtiene al observar los tres asentamientos comunitarios que ejemplificaremos aquí, es que son completamente diferentes y alejados uno de otro, no solamente en términos espaciales y temporales sino también en relación con su nivel de vida.



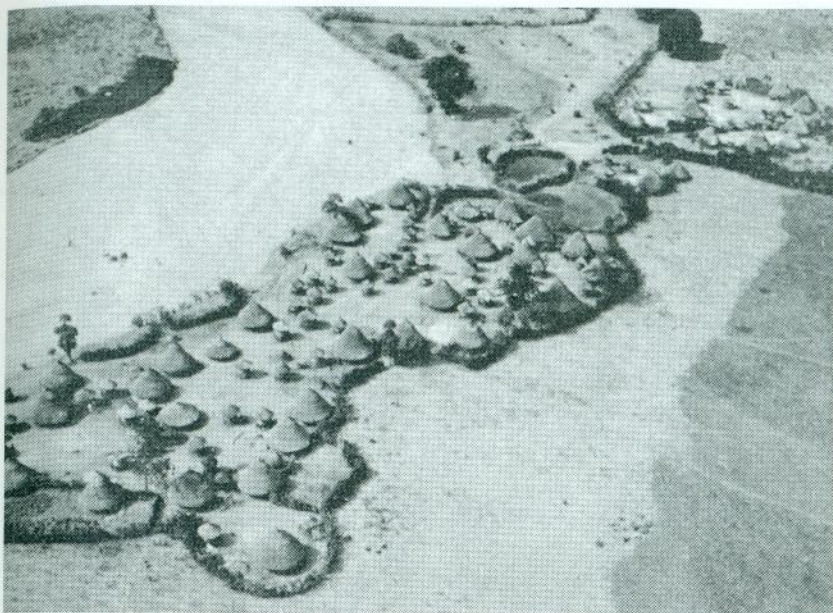
22. Poblado en zona cálida-árida.

Un estrecho y dilatado contacto con la naturaleza da lugar a soluciones tales como las de la aldea iraní del oasis de Veramin, en ella las viviendas se amontonan para dejar expuesta la mínima superficie posible al calor abrasador. La geometría mínima de las unidades individuales se refleja en el diseño del conjunto, configurando una atractiva unidad; la masificación rentabiliza su protección. El grosor de los muros tamiza las variaciones de la temperatura. Los sombreados patios interiores proporcionan frescor y establecen una unidad tipológica "introvertida" que se cierra en sí misma apartándose de un entorno hostil. Esta peculiar organización es el resultado de una urgente necesidad biológica.

En el Sudán tropical se encuentra la aldea de Bari que despliega un carácter completamente diferente. En las regiones ecuatoriales el sol incide muy verticalmente durante la mayor parte del día, la temperatura varía poco, y el ambiente se encuentra cargado de humedad. Tanto la radiación como la lluvia caen desde

arriba. Por esta razón, la cubierta es el elemento principal; enfatizado por la forma de sombrilla de las cubiertas de paja, organizadas en anillo. Las paredes pierden su papel usual, y los límites de la vivienda quedan definidos más o menos por la sombra que arroja la cubierta. Los vientos son bienvenidos y tanto los edificios como los habitantes están poco cubiertos o simplemente decorados. El espacio fluye fácilmente y esta fluidez incide en la disposición de las edificaciones tipo pabellón que se realiza espontáneamente y de forma libre y orgánica.

La comunidad de Zúrich se sitúa en la zona climática templada-fría de Suiza. En este caso, y a pesar de encontrarse en un entorno amable, se suceden variaciones en la búsqueda de una construcción equilibrada que permita aprovechar al máximo el asoleo en los meses de invierno y proporcione la sombra necesaria en los calurosos días del verano, es decir una edificación que pueda ejercer el papel de chaqueta veraniega y de abrigo confortable. En esta región climática ha proliferado la tipología edifi-



23. Poblado en zona cálida-húmeda.

catoria propia de la civilización occidental, con amplios ventanales y una comunicación directa con el entorno natural inmediato.

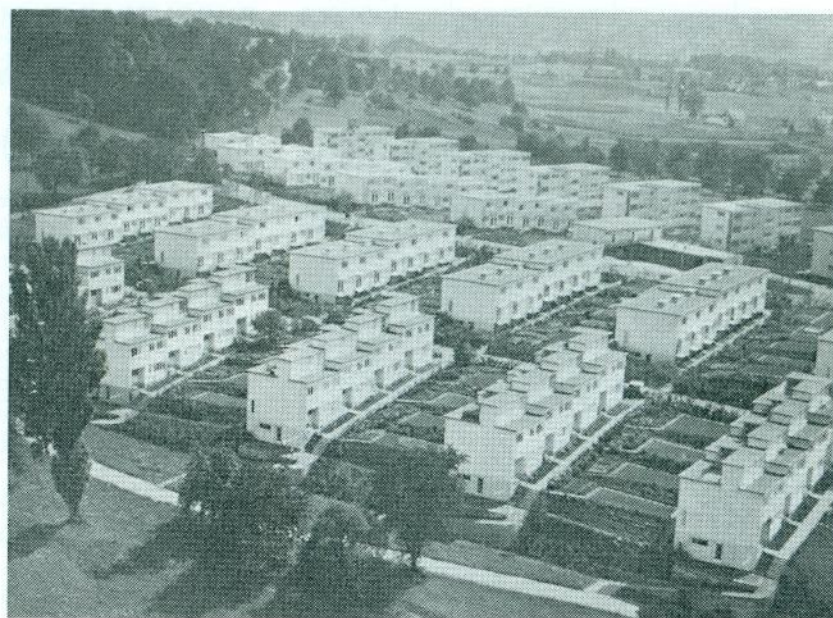
A pesar de la diversidad y del contraste de los trazados de estas comunidades, tienen algo en común: en todas ellas pueden advertirse unas características regionales muy marcadas que constituyen respuestas claras a las exigencias de los respectivos climas.

CARÁCTER REGIONAL

La dispersión de la población y el desarrollo de las comunicaciones modernas han acelerado el proceso de intercambio de ideas y tecnología. Debemos comprender que la implantación generalizada de las tipologías occidentales debe realizarse con mayor precaución. Estas formas tienen su origen en la respuesta a climas fríos, y pueden causar graves problemas cuando se adoptan como símbolos incorrectos

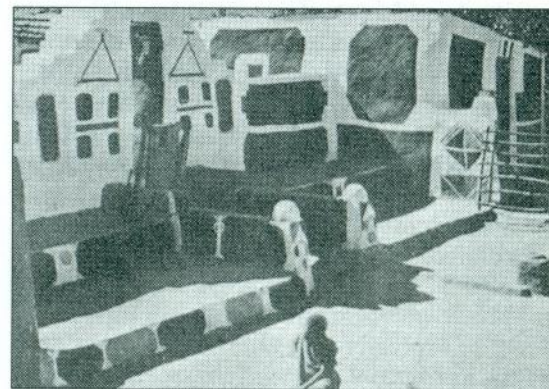
de progreso cultural. La valiosa intuición en el uso de los materiales autóctonos y de los elementos constructivos originales puede perderse al quedar descartadas las tradiciones propias. Todos estos aspectos deben, por supuesto, analizarse minuciosamente a partir de las creencias y costumbres de cada región. Existen algunas supersticiones relacionadas con la edificación, por ejemplo, en Malasia una zanja delante de una casa representa un mal augurio; a pesar de favorecer la ventilación cruzada, una habitación no puede tener aberturas en extremos opuestos; y la entrada de la vivienda no puede estar orientada de forma que la sombra del visitante atraviese el umbral. En otras regiones las ventanas deben cerrarse por las noches para impedir la entrada a los espíritus malignos.

Por otra parte, estaría muy bien que hiciéramos un examen de nuestras propias prácticas con la idea de una reevaluación global. En Estados Unidos, a pesar de la gran variedad de condiciones climáticas, el diseño constructivo



24. Viviendas en zona templada.

refleja una cierta uniformidad desordenada. Tipologías edificatorias y elementos constructivos se utilizan en diferentes entornos sin tener en cuenta sus efectos en el confort humano o incluso en el comportamiento de los materiales. Indudablemente, estos casos no reflejan el carácter regional sino que son tras-



25. Expresión de la fuerza y belleza espontánea de un poblado africano.



26. Elegancia en la expresión regional en el clima cálido-húmedo de las islas.

plantados por una población inmigrante. Podríamos citar numerosas consecuencias de esta inútil uniformidad, pero quizás la incidencia más decisiva proviene de los avances tecnológicos que ha sido necesario desarrollar para conseguir caldear o refrigerar dichas viviendas.

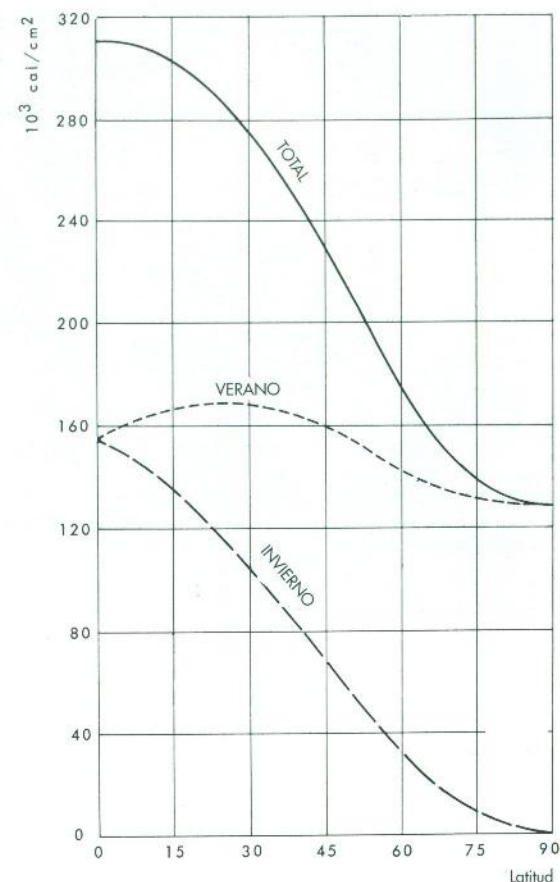
En referencia a la expresión arquitectónica regional, Walter Gropius escribía: “[...] el carácter regional no puede conseguirse a través de una interpretación sentimental o limitativa, incorporando antiguos emblemas o nuevas modas locales que desaparecen tan rápidamente como aparecen. Pero si uno adopta [...] el diferencial básico impuesto al diseño arquitectónico por las condiciones climáticas [...] puede obtener como resultado una diversidad de expresión [...] si el arquitecto utiliza la relación de contraste entre el interior y el exterior [...] como idea para su concepción del diseño”.¹⁶

ENCONTRAR EL MÉTODO

El proceso lógico sería trabajar con las fuerzas de la naturaleza y no en contra de ellas, aprovechando sus potencialidades para crear unas condiciones de vida adecuadas. Aquellas estructuras que, en un entorno determinado, reducen tensiones innecesarias aprovechando todos los recursos naturales que favorecen el confort humano, pueden catalogarse como “climáticamente equilibradas”. La estabilidad perfecta rara vez puede alcanzarse, solamente es posible bajo circunstancias ambientales excepcionales. Pero puede conseguirse una casa muy confortable y con un bajo coste de mantenimiento reduciendo la necesidad de acondicionamiento mecánico. Actuaremos correctamente si, una vez estudiadas las circunstancias climáticas, aplicamos nuestras conclusiones a una estructura específica localizada en un determinado entorno. Manteniéndonos, eso sí, alertas a las variaciones regionales.

Una aproximación sistemática a condiciones climáticas equilibradas supone un problema complicado, ya que los procedimientos en sí mismos se encuentran en los límites del conocimiento de diferentes disciplinas. Podemos identificar rápidamente dos de éstas: la climatología y la arquitectura, las cuales definen el principio y el final del problema. Combinando ambas, podemos obtener conclusiones válidas para el diseño de edificaciones. Tal como afirma Neutra:¹⁷ “En la planificación futura serán necesarias otras artes y ciencias, y no solamente una o dos, sino muchas más [...] la tarea de construir elementos que contribuyan a la composición del entorno humano [...] no puede complementarse correctamente sin la intervención del conocimiento científico actual disponible [...]. La investigación biológica sistemática, interrelacionada adecuadamente con sistemas organizados de diseño, actuará en beneficio de un más amplio espectro de consumidores humanos”.

Cualquier método universal aplicable al control climático desde la arquitectura, debe

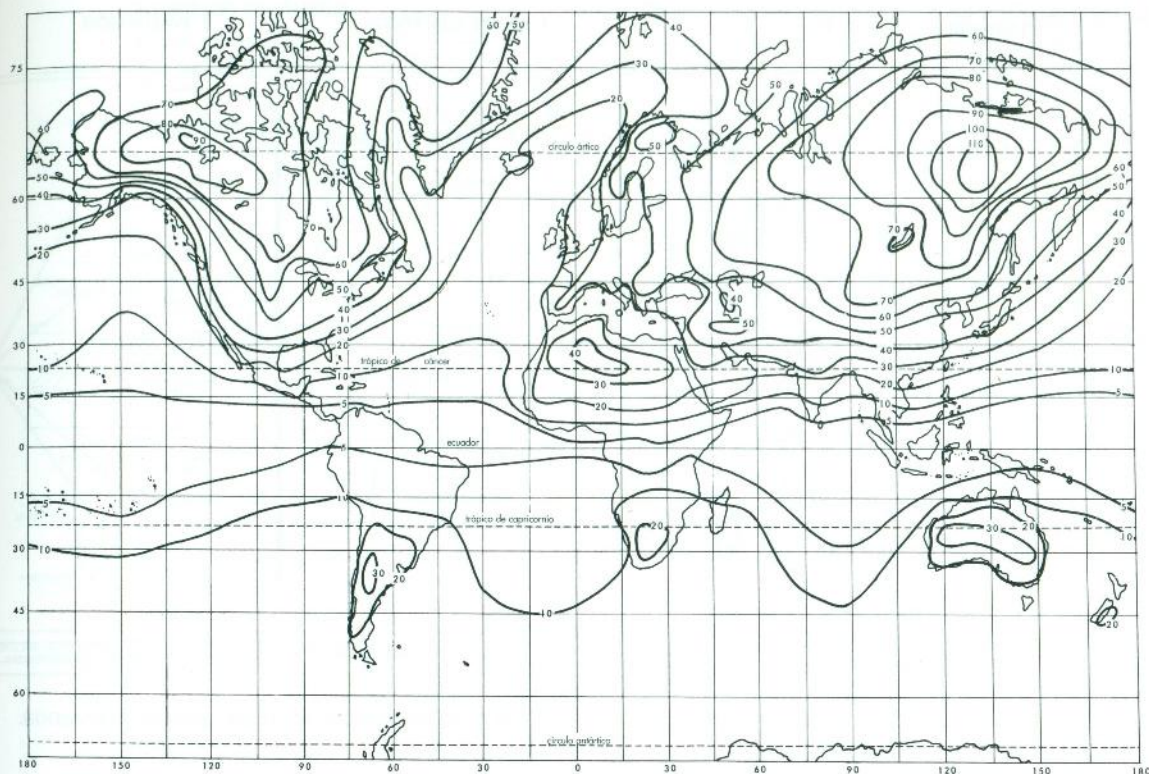


27. Radiación recibida a nivel de suelo en varias latitudes, sin tener en cuenta la influencia de la atmósfera.

basarse en criterios más amplios que los utilizados hasta ahora y, asimismo, debe acompañarse de un exhaustivo análisis del área específica. Adoptar un proceso semejante implica que deberemos descubrir las fases intermedias.

El proceso constructivo de una vivienda climáticamente equilibrada puede dividirse en cuatro etapas, la última de las cuales es la expresión arquitectónica. Ésta debe estar precedida por el estudio de las variables climáticas, biológicas y tecnológicas.

El primer paso hacia la adecuación ambiental consiste en un análisis de los elemen-

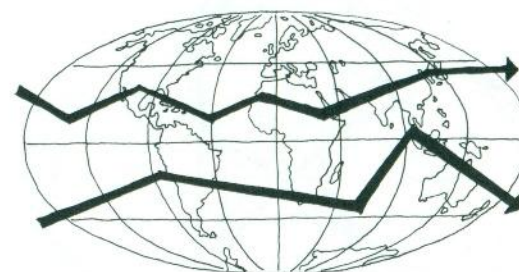


28. Temperatura media anual.

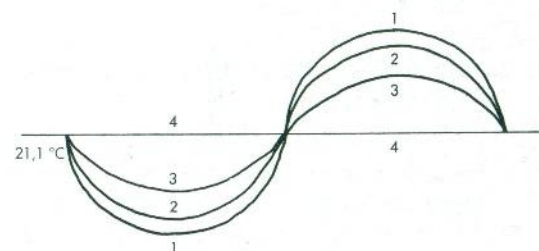
tos climáticos del lugar escogido. Debemos resaltar que cada elemento produce un impacto diferente y presenta una problemática distinta. Dado que el hombre constituye la medida de referencia fundamental en la arquitectura, y que su refugio se proyecta para satisfacer sus necesidades biológicas, el segundo paso será realizar una evaluación de las incidencias del clima en términos fisiológicos. En tercer lugar, se analizará la solución tecnológica adecuada para cada problema de confort climático. En un estadio final, dichas soluciones deberán combinarse de acuerdo con su importancia en una unidad arquitectónica. La secuencia para esta interrelación de variables es: Clima → Biología → Tecnología → Arquitectura y, en general, este libro seguirá esta secuencia.

Las fases de este método consisten, de forma más detallada, en lo siguiente:

1. LOS DATOS CLIMÁTICOS de una región deben analizarse según las características anuales de sus elementos constituyentes, es decir; temperatura, humedad relativa, radiación solar y efectos del viento. Asimismo, deben tenerse en cuenta los efectos modificados de las condiciones microclimáticas.
2. LA EVALUACIÓN BIOLÓGICA debe estar basada en las sensaciones humanas. Trasladando los datos del ambiente a una gráfica bioclimática, en intervalos regulares, obtendremos una "diagnosis" de la región, con la importancia relativa de los diversos elementos climáticos. El resultado del proceso descri-



29. Correlación horizontal de las influencias climáticas.

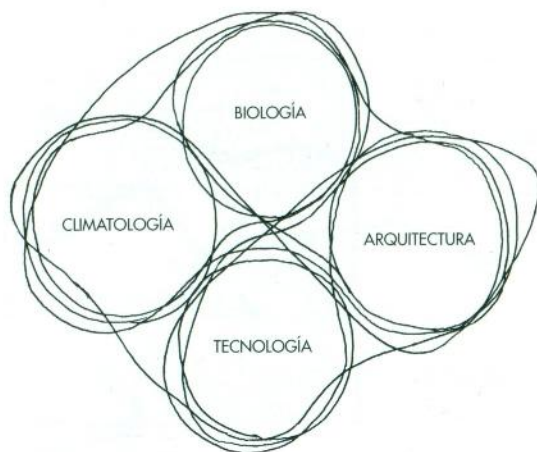


30. Aplanamiento de la curva de temperatura a partir de las condiciones del entorno (1) desde la microclimatología (2) y el balance climático de la edificación (3) hasta la calefacción o refrigeración mecánica (4).

to puede tabularse en un calendario anual, a partir del cual podremos obtener información acerca de las medidas más convenientes a tomar para recuperar el grado de confort adecuado en cualquier fecha del año.

3. LAS SOLUCIONES TECNOLÓGICAS adecuadas pueden encontrarse una vez los requisitos quedan establecidos. Dichas soluciones deben interceptar las adversidades y utilizar las ventajas existentes en la cantidad y el momento apropiados. Esta función tan necesaria para lograr un refugio en condiciones equilibradas debe realizarse a través de *métodos de cálculo*:

A. En la *elección del lugar* la mayoría de los factores varían. En general, aquellos emplazamientos que muestran mejores ca-



31. Campos interrelacionados del equilibrio climático.

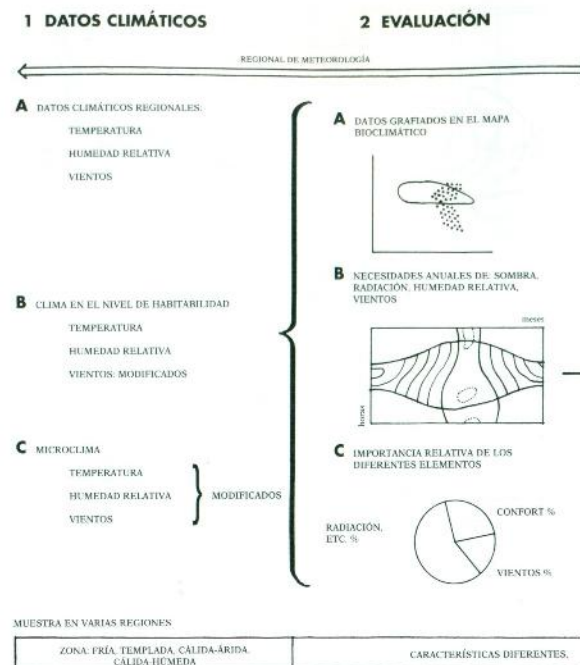
racterísticas en una relación invierno-verano son los más adecuados para vivir.

- B. En el aspecto de la *orientación*, puede decirse que el asoleo es decisivo en ambos casos, positivamente (en períodos fríos) y negativamente (en épocas calurosas). El equilibrio puede encontrarse tomando como referencia, por una parte los “períodos más fríos”, es decir, cuando necesitamos la radiación, y por otra los más cálidos, que es cuando intentamos evitarla.
- C. Los *cálculos de la sombra* se basan en el principio de su evolución a lo largo del año, en épocas frías el sol debe incidir en el edificio, y durante las épocas calurosas las construcciones deben estar sombreadas. Una gráfica del recorrido del sol, además de cálculos geométricos y de radiación, puede demostrarnos la efectividad de los elementos diseñados para controlar el asoleo.
- D. La *forma de las viviendas* y de los edificios en general debe resistir los impactos adversos del entorno térmico; en determinados lugares algunas formas pueden ser más adecuadas que otras.

- E. Los *movimientos del aire* pueden dividirse en categorías de viento o brisa, según si son más o menos deseables. En épocas frías los vientos deben ser interceptados; las brisas refrescantes, sin embargo, deben aprovecharse durante períodos calurosos. El movimiento del aire en el interior de las estancias debe satisfacer las necesidades bioclimáticas. Los cálculos basados en la cantidad de flujo de aire existente en un edificio, en combinación con el patrón de flujos internos, pueden utilizarse para determinar la localización, organización y tamaño de las aberturas.
- F. El *equilibrio de la temperatura interior* puede lograrse, hasta cierto punto, utilizando de forma metódica los materiales. La inercia térmica y la capacidad aislante características de los materiales pueden utilizarse para mejorar las con-

diciones de un interior. Un plan helio-térmico, basado en estudios acerca del flujo del calor, proporciona medidas cuantitativas de la importancia relativa de los elementos constructivos. El criterio principal para conseguir el equilibrio es: flujo mínimo de calor hacia el exterior en invierno, mínima ganancia de calor en las estructuras durante períodos calurosos.

4. LA APLICACIÓN ARQUITECTÓNICA de las conclusiones extraídas en las tres primeras fases debe desarrollarse y equilibrarse de acuerdo con la importancia de los diferentes elementos. El equilibrio climático comienza en el lugar, y debe tomarse en consideración tanto para la ordenación urbana de las viviendas como para el diseño sistémico de las unidades residenciales.



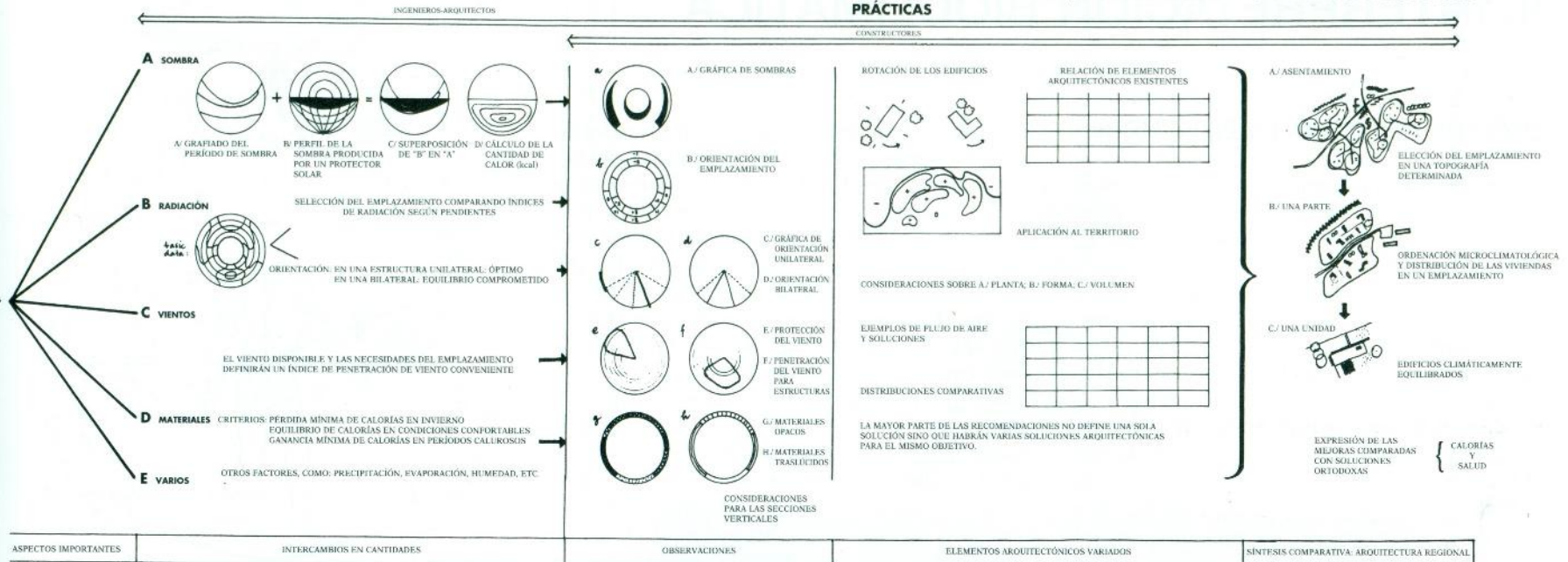
32. Método de interpretación del clima en la vivienda.

3 MÉTODOS DE CÁLCULO

4 OBSERVACIONES

5 EJEMPLOS ARQUITECTÓNICOS, CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

6 APLICACIÓN ESQUEMÁTICA



SUMARIO

Los contenidos de este libro siguen, en general, las cuatro fases señaladas. Si el lector se informa de los requisitos bioclimáticos del Capítulo 2, podrá seguir más fácilmente las evaluaciones climáticas del Capítulo 3, y entenderá mejor la manipulación selectiva de los factores climatológicos descrita en el Capítulo 4.

De ahí en adelante, el texto no analiza cada componente climático de forma separada; sino que, teniendo en cuenta el resultado arquitectónico, resalta elementos y principios arquitectónicos. No se sugieren recomendaciones rígidas, ya que en arquitectura existen muchas vías para alcanzar la meta del confort humano. Por otra parte, y para enfatizar

los factores medioambientales que dan lugar a las diferencias regionales, se han desarrollado, en la mayor parte de estos capítulos, algunos análisis de casos situados en cuatro emplazamientos geográficos distintos, representativos de la mayoría de las zonas climáticas de Estados Unidos. Esto supone el análisis detallado de los problemas de orientación, sombra, forma, movimientos del aire y planificación heliotérmica, desarrollados en los capítulos 6 a 10.

Llegados a este punto, puede darse por finalizada la investigación. Sin embargo, dado que los arquitectos tienden a la apreciación visual de las cosas y no se imaginan la vida contenida en unos engorrosos gráficos, es posible que prefieran mirar un resumen de conclusio-

nes, así, el Capítulo 12 sintetiza los efectos del clima sobre los edificios en las cuatro regiones principales, con ejemplos ilustrativos de las posibles aplicaciones.

La adaptación de la edificación a su entorno ha representado un eterno problema durante siglos. Vitrubio le concedió gran importancia, al igual que Le Corbusier, quien afirmaba: "La sinfonía del clima [...] no ha sido comprendida [...] La trayectoria del sol difiere de la curvatura de los meridianos, la intensidad de su radiación varía en la superficie de la tierra según su incidencia [...]. En este tema existen numerosos condicionantes que precisan soluciones apropiadas. Es aquí, donde el regionalismo auténtico juega un papel muy importante".¹⁸

II. INTERPRETACIÓN BIOCLIMÁTICA

EFFECTOS DEL CLIMA EN EL HOMBRE

Los efectos del medioambiente inciden directamente tanto en la energía como en la salud del hombre. Es muy común la experiencia de que ciertos días las condiciones atmosféricas estimulan y vigorizan nuestras actividades mientras que otros deprimen los esfuerzos físicos y mentales. También es muy conocido que en las zonas climáticas donde prevalece un calor o frío excesivos, el esfuerzo biológico de adaptación a dichas condiciones disminuye nuestra energía.

La medida en que los factores climáticos afectan al ser humano es un tema que se ha estudiado de muchas formas, aquí mencionaremos dos métodos de evaluación. Uno de ellos describe los efectos negativos del clima en el hombre expresado en términos de tensión, dolor, enfermedad y muerte. El segundo método define las condiciones en las cuales la productividad, la salud y la energía mental y física alcanzan su máxima eficiencia. Ambas versiones pueden combinarse, mostrando unas relaciones complementarias o incluso coincidentes, con objeto de definir las condiciones térmicas y atmosféricas más deseables o desagradables para el ser humano.

Ellsworth Huntington ha estudiado la influencia del clima en nuestra salud, basándose



33. Salud y eficacia en función de los cambios estacionales.

en los cambios estacionales y analizando las variables propias de la zona templada del noroeste de Estados Unidos.¹ En el gráfico adjunto, las dos curvas superiores muestran la productividad en fábricas situadas en Connecticut (A) y en Pittsburg (B). Ambas descienden durante el período invernal y ascienden hacia el verano. En épocas estivales especialmente calurosas la productividad desciende, mientras que, con temperaturas más frescas, no se produce ninguna caída. En el otoño, principalmente en los meses de octubre y noviembre, la energía humana parece alcanzar su mayor valor. Las curvas inferiores muestran las condiciones de salud existentes durante el mismo período de tiempo en Connecticut (C) y en Pensilvania (D), superponiéndolas, podremos establecer comparaciones con las curvas de productividad y trabajo. En los cambios de curvatura podemos observar pequeñas caídas que se producen después de la incidencia de alguna enfermedad. Por otra parte, las fluctuaciones de las cuatro curvas denotan una gran relación entre todos los parámetros.

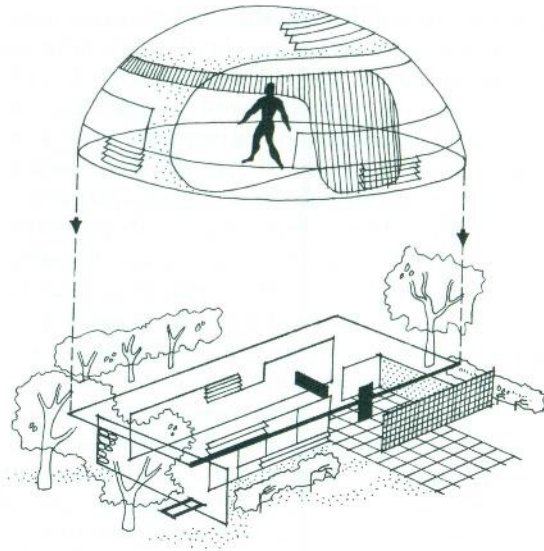
Los estudios realizados por Huntington demuestran que los períodos más o menos energéticos ocurren en momentos diferentes en las distintas zonas climáticas.² En latitudes altas el período de tiempo más deseable va desde julio a septiembre, y se consideran los meses invernales como la época más desfavorable. En regiones templadas, la primavera y el otoño son períodos saludables, mientras que, en relación a ellos, el verano y el invierno son peores. En las bajas latitudes de Estados Unidos pueden distinguirse dos períodos climáticos: uno favorable pero corto, el invierno, y un verano que dura aproximadamente seis meses, en los que se produce un declive tanto en la curva del trabajo como en la de la salud.



34. El hombre como medida central en arquitectura.

Huntington señala que en Europa se dan estas mismas, o similares, condiciones. En la parte central de Francia y al sur de Alemania las variaciones estacionales, en relación con la salud, se parecen mucho a las que podemos encontrar en Boston o Detroit. En Escocia, Escandinavia y Finlandia la mejor estación del año es, casi invariablemente, el verano, mientras que la peor es el invierno. Por el contrario, en Italia, España y Grecia los efectos nocivos del invierno decrecen, mientras que los del verano se incrementan, hasta que, finalmente, en la costa sur del Mediterráneo el invierno representa la mejor época del año.

Todas estas observaciones sugieren, como consecuencia, que tanto la fuerza física del hombre como su actividad mental se desarrollan mejor si las condiciones climáticas del entorno oscilan dentro de una gama determina-



35. Interpretación teórica de la vivienda equilibrada.

da, pero si se encuentran fuera de ésta, la eficacia decrece y las tensiones y la posibilidad de contraer enfermedades aumentan.

REFUGIO Y ENTORNO

El medio ambiente físico está formado por numerosos elementos relacionados. Es posible intentar describir los constituyentes del entorno tales como: luz, sonido, clima, espacio, etc.³ Todos ellos inciden directamente en el cuerpo humano, el cual puede absorberlos o intentar contrarrestar sus efectos. En la lucha por conseguir el equilibrio biológico se producen diversas reacciones físicas y psicológicas. El hombre se esfuerza por llegar al punto en el que adaptarse a su entorno le requiera solamente un mínimo de energía. Las condiciones bajo las cuales consigue este objetivo se define como "zona de confort", donde la mayor parte de la energía humana se libera para dedicarse a la productividad.

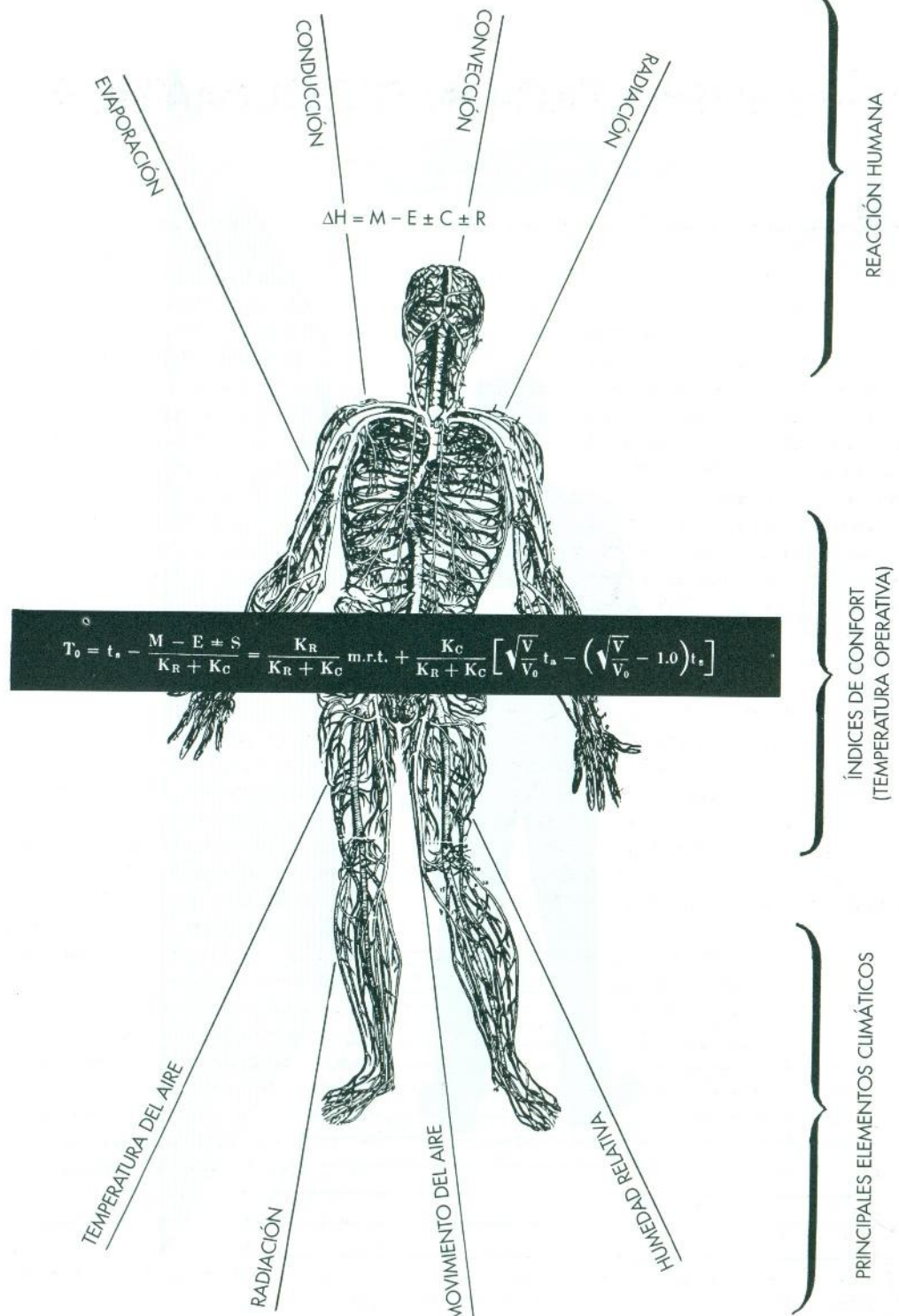
La vivienda es el principal instrumento que nos permite satisfacer las exigencias de

CIENCIAS MÉDICAS

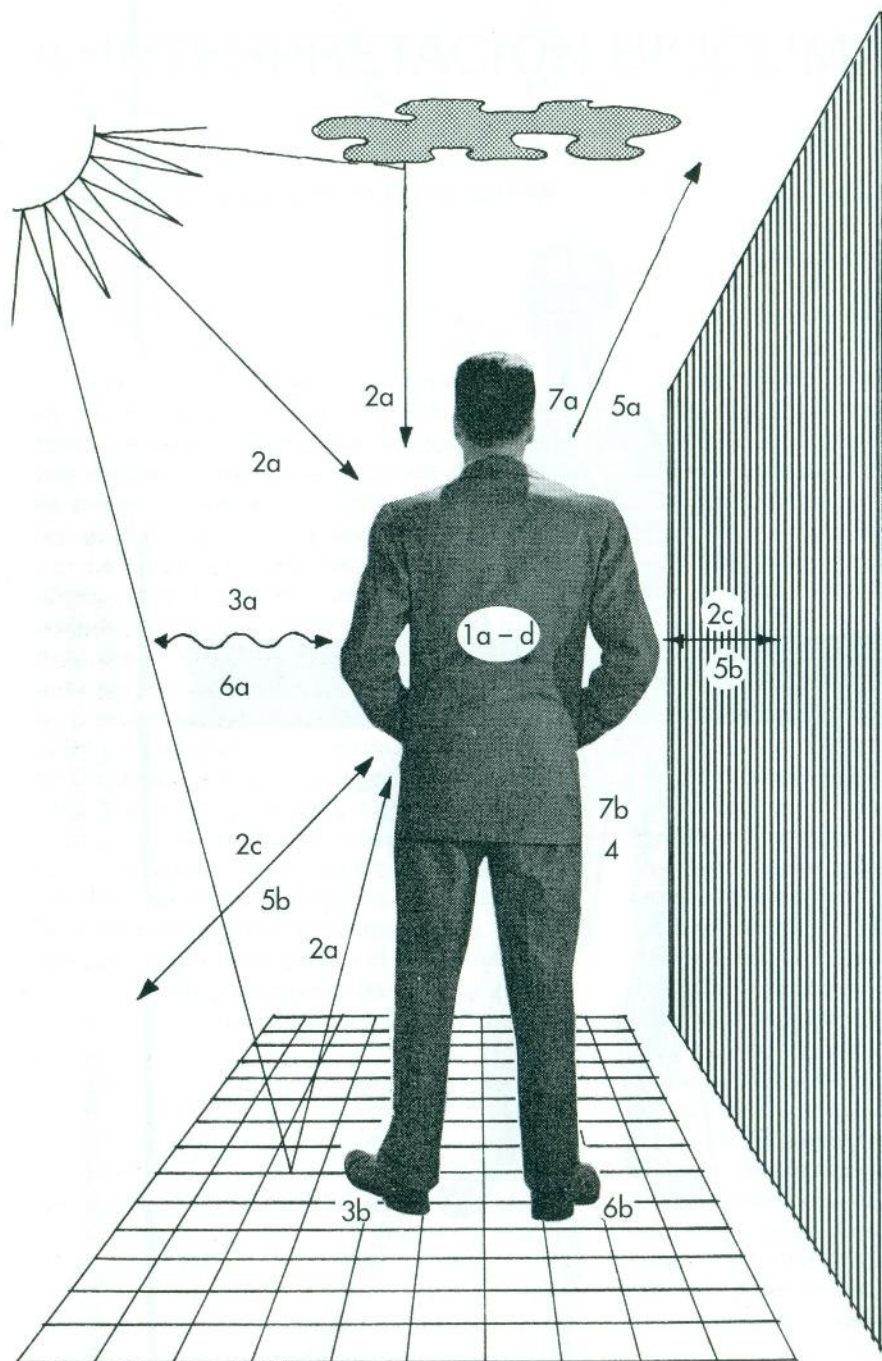
BIOLOGÍA

TECNOLOGÍA DEL ENTORNO

METEOROLOGÍA



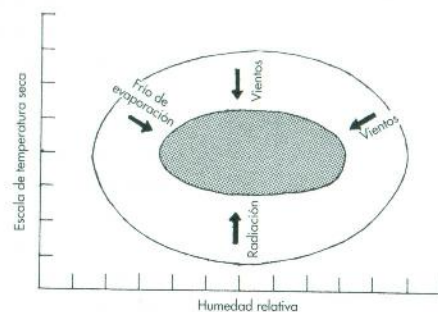
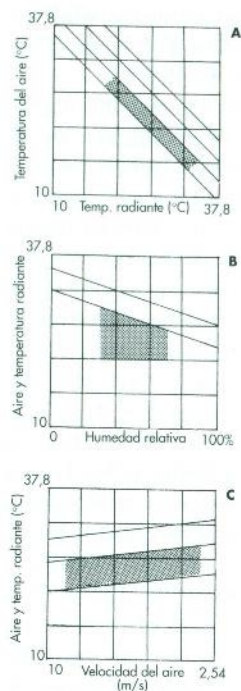
36. Relación entre el cuerpo humano y los elementos climáticos.



confort adecuadas. Modifica el entorno natural y nos aproxima a las condiciones óptimas de habitabilidad. Debe filtrar, absorber o repeler los elementos medioambientales según influyan beneficiosa o negativamente en el confort del ser humano. El criterio ideal para el diseño de un refugio en equilibrio respecto a su medio ambiente sería el que cubriera satisfactoriamente todas las necesidades fisiológicas humanas. En este libro solamente analizaremos uno de los elementos –la sensación de equilibrio térmico–, sin el cual sería imposible cualquier definición de confort.

Los elementos principales que afectan al confort humano son: temperatura del aire, radiación solar, movimiento del aire y humedad. (Existen otros tales como: diferencias químicas, impurezas físicas, electricidad estática en el aire, etc., pero que no serán considerados en este estudio.) Dichos factores actúan sobre el ser humano según una compleja interrelación que puede ser expresada en una escala calorimétrica denominada temperatura operativa (T_o), desarrollada por Winslow, Herrington y Gagge. Sus ecuaciones combinan la temperatura, el movimiento del aire y la radiación solar con el metabolismo, para explicar cómo recibe el cuerpo humano los efectos de ciertos elementos climáticos y cómo mantiene su estabilidad térmica.⁴

Los medios a través de los cuales el cuerpo humano intercambia calor con su entorno pueden clasificarse en cuatro procesos principales: radiación, conducción, convección y evaporación. Se estima que el cuerpo humano pierde 2/5 partes de su calor a través de la radiación, 2/5 partes por convección y 1/5 parte por evaporación; sin embargo, estas proporciones pueden cambiar si se producen variaciones en las condiciones térmicas. Winslow, Herrington y Bedford,⁵ han discutido detenidamente acerca de la respuesta de nuestro cuerpo a las tensiones térmicas. D.H.K. Lee⁶ sintetiza los factores que influyen en el equilibrio de la temperatura del cuerpo de la forma siguiente (ver también el Apéndice A-1):



38. Interrelación de los elementos climáticos.

BENEFICIOS

1. *Calor producido por:*
 - a) Proceso básico.
 - b) Actividad.
 - c) Procesos digestivos, etc.
 - d) Tensión muscular y escalofríos de respuesta al frío.
2. *Absorción de la energía radiante:*
 - a) Directamente del sol o reflejada.
 - b) De emisores de radiación.
 - c) De objetos calientes pero no emisores.
3. *Conducción del calor hacia el cuerpo:*
 - a) Por el aire si este tiene una temperatura superior a la de la piel.
 - b) Por contacto con objetos calientes.
4. *Condensación de la humedad atmosférica (ocasional).*

PÉRDIDAS

5. *Radiación hacia el exterior:*
 - a) Hacia el cielo.
 - b) Hacia los alrededores si se encuentran a una temperatura inferior.
6. *Conducción del calor fuera del cuerpo:*
 - a) Al aire cuya temperatura sea inferior a la de la piel (impulsado por convección).
 - b) Por contacto con objetos más fríos.
7. *Evaporación:*
 - a) Procedente de la respiración.
 - b) Procedente de la piel.

La magnitud relativa actual de la producción del calor humano y del intercambio de calor con el ambiente puede oscilar entre unos límites muy amplios. Los procesos vitales del cuerpo van acompañados de una transformación de calor considerable. El 20 % del rendimiento de esta energía procede de la oxidación de los alimentos, el 80 % se expelle en forma de calor. Incluso cuando nuestro cuerpo se encuentra en completo reposo en un entorno térmico adecuado, su producción de calor se mantiene por encima de un nivel mínimo –el metabolismo base– es decir 73 kcal/h aproximadamente para una persona media. Este índice alcanza las 100 kcal/h en actividades sedentarias, las 191 kcal/h caminando a 3 km/h, las 353 kcal/h a 6 km/h, y las 756 - 1.210 kcal/h realizando un máximo esfuerzo.

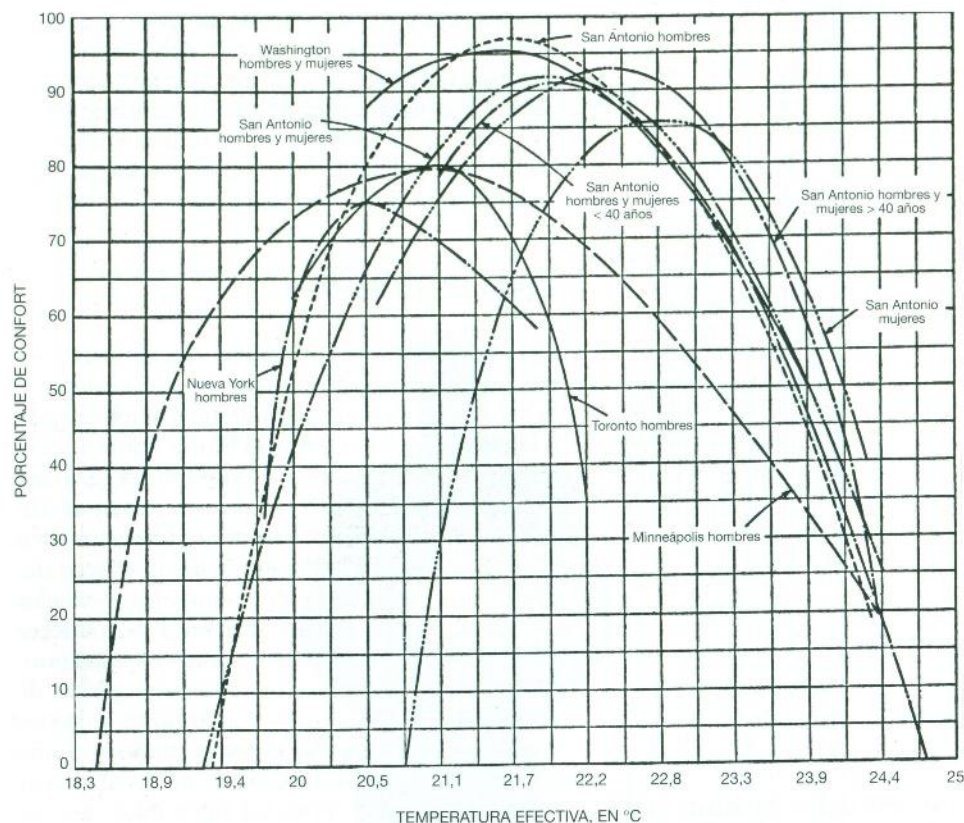
El problema del arquitecto consiste en crear un entorno que no produzca tensiones ne-

gativas sobre el mecanismo de compensación de calor del cuerpo. El objetivo debe reinterpretarse en términos de confort, la representación debe ser gráfica y, para ser fácilmente aplicable, los datos derivados de los estudios empíricos deben expresarse de forma que puedan ser útiles en la práctica arquitectónica.

ZONA DE CONFORT

Algunos escritores consideran que el límite superior de temperatura que puede resistir el hombre se da en el punto de insolación debido a la radiación solar y que el límite mínimo es el punto de congelación.⁷ La temperatura ideal del aire debe encontrarse entonces a mitad de camino entre estos dos extremos. Experimentos realizados en la Fundación John B. Pierce demuestran que al someter a animales a túneles de temperatura variable, prefieren permanecer a 21 °C, es decir en la zona media entre los puntos que exigen un mayor gasto energético de adaptación al ambiente.⁸ Por lo tanto, algunos estudiosos afirman que el ser humano con una temperatura corporal media de 37 °C, al buscar unas condiciones térmicas favorables, escoge intuitivamente aquellas áreas en las cuales la temperatura se encuentra entre el frío que puede tolerar sin estar demasiado incómodo y el punto que le permita adaptarse al calor, sin que sus sistemas circulatorios y de secreción tengan que realizar un esfuerzo excesivo.

En el Departamento Británico de Investigaciones Científicas e Industriales, dirigido por los doctores H.M. Vernon y T. Bedford, llegaron, a través de numerosas investigaciones y experimentos, a definir las condiciones de confort. Vernon afirma que las temperaturas ideales, con poco movimiento del aire, menos de 0,25 m/s, son: 19 °C en verano y 17 °C en invierno. Bedford sitúa la temperatura interior ideal en 18 °C durante el invierno y define una zona de confort entre los 13 y los 23 °C.⁹ El estándar alemán se sitúa en 20,8 °C, con un 50 % de humedad relativa.¹⁰ S.F. Markham



39. Relación entre la temperatura efectiva y las observaciones que indican el porcentaje de confort.

propone un margen de temperatura entre los 15,6 y los 24,4 °C como zona de confort ideal, con una humedad relativa al mediodía entre el 40 % y el 70 %.¹¹ C.E.P. Brooks declara que la zona de confort británica oscila entre los 14 y los 21,1 °C; en Estados Unidos dicha zona de confort se sitúa entre los 20,56 y los 26,7 °C; en los trópicos entre los 23,3 y los 26,7 °C; con una humedad relativa entre el 30 % y el 70 %.¹²

La Estación Experimental de la Commonwealth Australiana desarrolló experimentos psicológicos que sugerían que, en unas condiciones climáticas dadas, la temperatura seca proporciona una sensación satisfactoria de calor hasta el momento en que se produce la transpiración general.¹³

Científicos americanos han intentado establecer una medición psicológica, combinando los efectos de la temperatura, de la humedad y del movimiento del aire, denominada escala de temperatura efectiva (ET).¹⁴ Este grupo sitúa la humedad relativa entre el 30 % y el 70 %. Según Houghton y Yaglou la ET óptima se encuentra en los 18,9 °C, pudiendo oscilar entre los 17,2 y los 21,7 °C, tanto para los hombres como para las mujeres (en reposo y vestidos normalmente). Algunos laboratorios e investigadores de campo han llegado a la conclusión de que el índice ET sobrevalora el efecto de la humedad en la sensación de calor moderado y confort a temperatura normal, y que subestima esta influencia a temperaturas muy

altas.¹⁵ Posteriormente, Yaglou desarrolló un método para mejorar el índice ET basándose en la temperatura media de la piel.¹⁶

Las fuentes anteriormente mencionadas sirvieron como base para la definición de la "zona de confort". Sin embargo, debe resaltar-se que, considerando la gama de observaciones y opiniones, no existe un criterio único para poder realizar una evaluación precisa del confort. Quizá podría definirse en negativo, es decir, como la zona en la cual no se produce un sentimiento de incomodidad. Una franja muy similar a la zona de neutralidad térmica, que varía según los individuos, los tipos de vestido y la naturaleza de la actividad que se realiza. Asimismo, es dependiente del sexo; en general, las mujeres prefieren una temperatura efectiva un grado más elevada que los hombres. La edad juega también un papel importante en los requerimientos térmicos, las personas mayores de 40 años prefieren generalmente una temperatura un grado más elevada que los hombres o mujeres menores de esa edad. De acuerdo con la localización geográfica, la aclimatación afecta la zona de confort elevando los requerimientos térmicos.

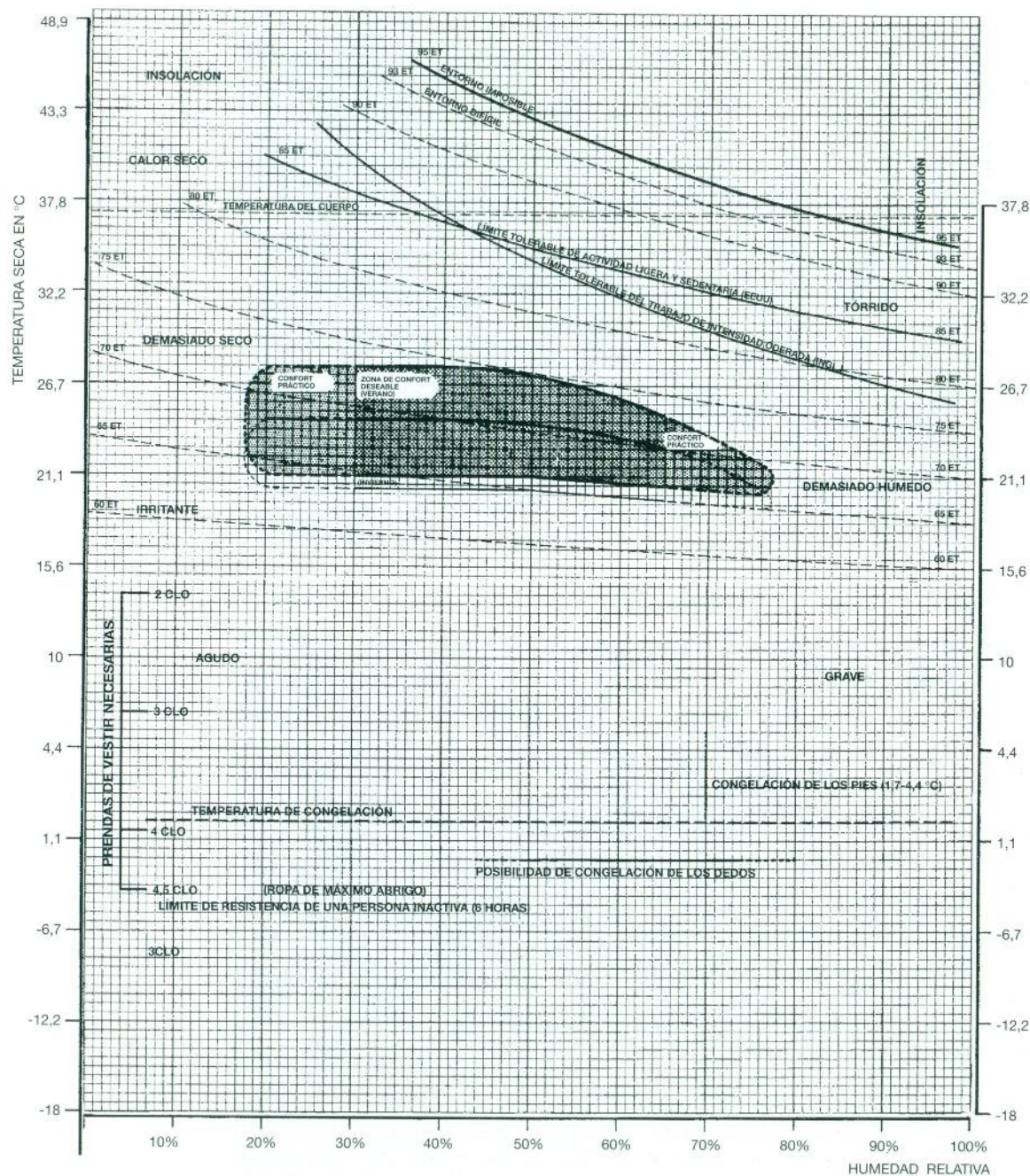
La franja de confort no tiene límites reales; a partir de su zona central la neutralidad deriva sutilmente hacia un cierto grado de tensión y de éste pasa directamente a alcanzar la situación de incomodidad. Como consecuencia, cualquier perímetro definitivo del confort estará basado en asunciones arbitrarias. En caso de acondicionamiento mecánico, la situación deseada deberá situarse hacia el punto medio de la neutralidad térmica. En aquellos edificios en los que se intenta equilibrar la calidad ambiental por medios naturales, no pueden exigirse unas condiciones tan estrictas. En estos casos, el criterio a adoptar es el de que el perímetro de la zona de confort vendrá definido por aquellas condiciones en las cuales una persona media no experimente sensación de incomodidad.

Los valores de la temperatura efectiva utilizados en la gráfica adjunta están ajustados a

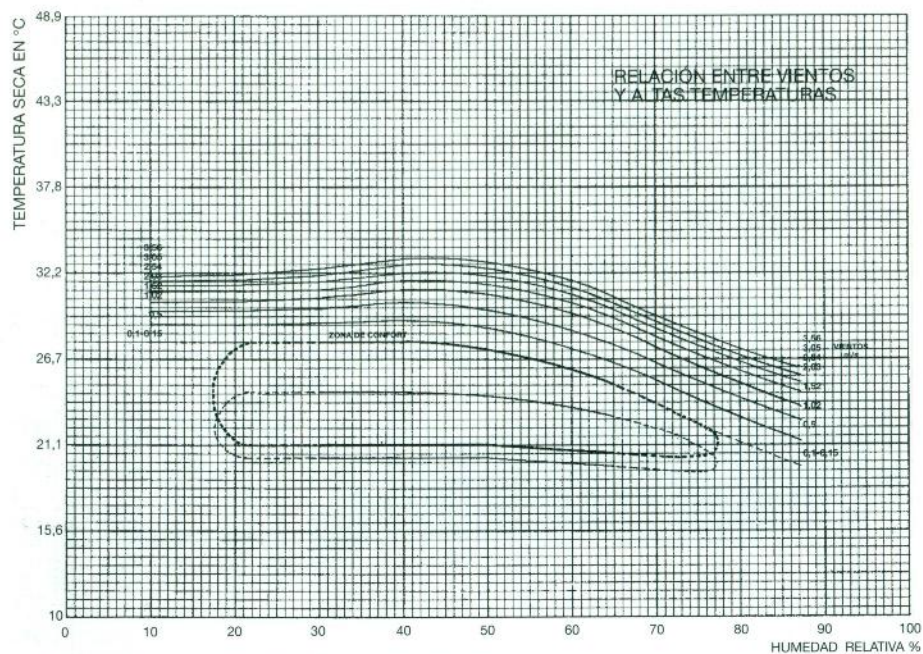
los índices de temperatura de la piel. La zona de confort deseado indicada se encuentra entre el 30 % y el 65 % de humedad relativa. A efectos prácticos hemos ampliado la zona de verano para incluir aquellas regiones con baja o alta humedad en las que no se producen tensiones térmicas –no se recomiendan, sin embargo, para períodos de tiempo muy prolongados. El confort invernal se grafía un poco más abajo. Los datos de esta tabla sólo pueden aplicarse directamente a los habitantes de la zona templada de Estados Unidos, con vestimenta normal para interior, vida sedentaria o con poco esfuerzo muscular y a una altura no muy superior a los 1000 m de altitud sobre el nivel del mar. Para aplicar la gráfica de regiones climáticas en zonas alejadas de los 40° de latitud, la línea del perímetro de confort de verano debe elevarse aproximadamente 2/5 °C cada 5° de latitud hacia latitudes inferiores. El perímetro superior puede elevarse proporcionalmente, pero sin sobrepasar los 29,4 °C.

Fuera de la zona de confort, las diferentes sensaciones que aparecen en la gráfica coinciden con las observadas por C. E. P. Brooks.¹⁷ El límite de esfuerzo moderado a alta temperatura se indica en la gráfica con una curva basada en las descripciones de D. Brunt.¹⁸ Dicha curva sigue aproximadamente la de los 29,4 °C de la ET. Las curvas del “Entorno difícil” (33,9-35,5 °C ET) y del “Entorno imposible” (35-36,1 °C ET), se basan en los resultados de estudios realizados en Pittsburg (ASHVE-USBM) y en Fort Knox (AMRL).¹⁹

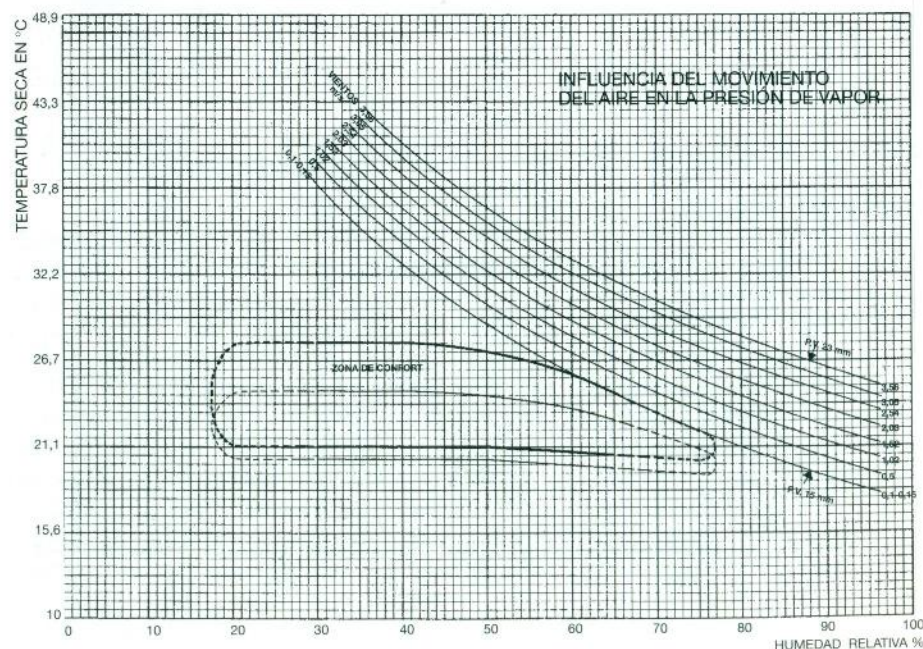
La escala para medir el efecto térmico de la ropa en el cuerpo humano se basa en el *Clo*.²⁰ Un *Clo* es una unidad arbitraria para determinar el grado de aislamiento de una prenda de vestir. El valor de un *Clo* equivale al aislamiento que proporciona la ropa normal de un hombre manteniendo el confort a una temperatura exterior de 21,1 °C sin movimiento de aire, con una humedad relativa menor del 50 % y sin demasiada actividad física. El de la prenda de vestir más cálida es de 4,5 *Clo*.



40. Confort atmosférico y zonas de peligro (para habitantes de zonas de clima moderado).



41. Relación entre vientos y altas temperaturas.



42. Influencia del movimiento del aire en la presión de vapor.

RELACIÓN ENTRE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS Y EL CONFORT

El MOVIMIENTO DEL AIRE afecta a nuestro cuerpo. No disminuye la temperatura pero provoca una sensación de frescor debida a la pérdida de calor por convección y al aumento de la evaporación del cuerpo.²¹ A medida que el movimiento del aire aumenta, el límite superior del confort se eleva. Sin embargo, este incremento se detiene al alcanzar temperaturas altas.

La figura adjunta muestra velocidades teóricas de viento necesarias para restablecer el confort, cuando la temperatura y la humedad relativa se encuentran fuera de la franja de bienestar. Los límites convenientes de la velocidad del viento se encuentran definidos según su efecto sobre los seres humanos.²²

VELOCIDAD	IMPACTO PROBABLE
Hasta 15 m/min	Inadvertido
entre 15 y 30,5 m/min	Agradable
entre 30,5 y 61 m/min	Generalmente agradable, pero se percibe constantemente su presencia
entre 61 y 91 m/min	De poco molesto a muy molesto.
por encima de los 91 m/min	Requiere medidas correctivas si se quiere mantener un alto nivel de salud y de eficiencia.

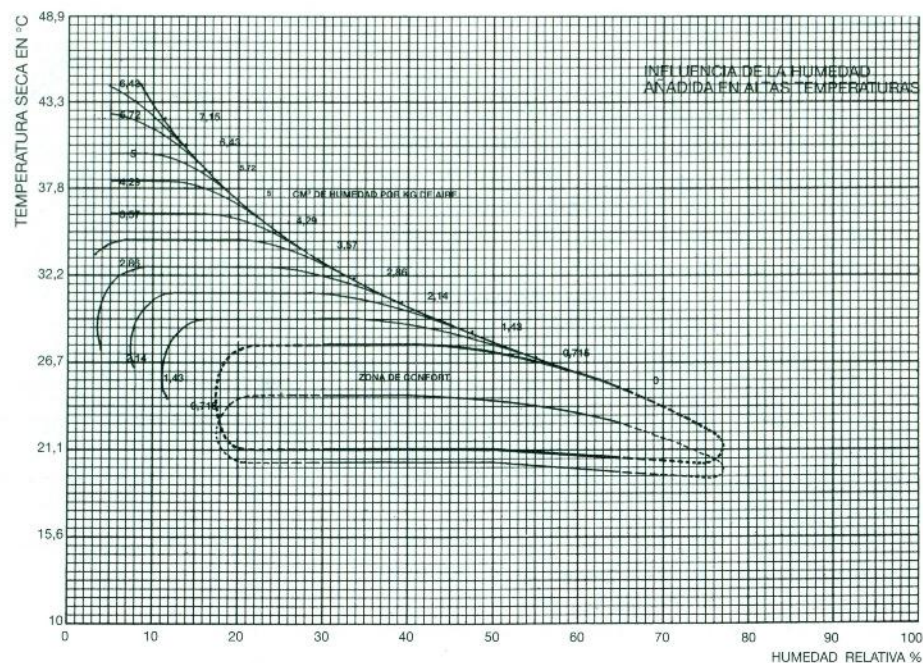
La PRESIÓN DE VAPOR se mide por la cantidad de vapor de agua que contiene la atmósfera. Frecuentemente las personas experimentamos una sensación de opresión si la presión del vapor supera los 15 mm en un medidor de mercurio. El Dr. Paul Siple afirma que a partir de los 15 mm de presión, cada milímetro adicional debe contrarrestarse con un efecto del viento equivalente a 1 km/h.²³ La Fundación John B. Pierce de la Universidad de Yale ha desarrollado cálculos más detallados para este efecto, pero acepta la aproximación anterior como adecuada a efectos prácticos. La figura muestra la franja entre los 15 y 23 mm de presión de vapor contrastada con velocidades de viento que van desde aire estático (6 a 9 m/min) hasta los 213 m/min.

La EVAPORACIÓN disminuye la temperatura seca. Las curvas de la gráfica se calibran en intervalos de $0,715 \text{ cm}^3$ de humedad por cada kg de aire. La disminución de temperatura causada por la evaporación de humedad añadida restituirá la temperatura de confort llevándola hacia el límite exterior de la zona de confort. Todos los cálculos se han basado en la suposición de que el calor latente es suministrado completamente por el aire. El gráfico psicrométrico de Carrier se ha utilizado (presión barométrica 760 mm de mercurio; presión de vapor igual que la del agua) para determinar los cm^3 de humedad por cada kilogramo de aire seco al bajar las temperaturas.²⁴

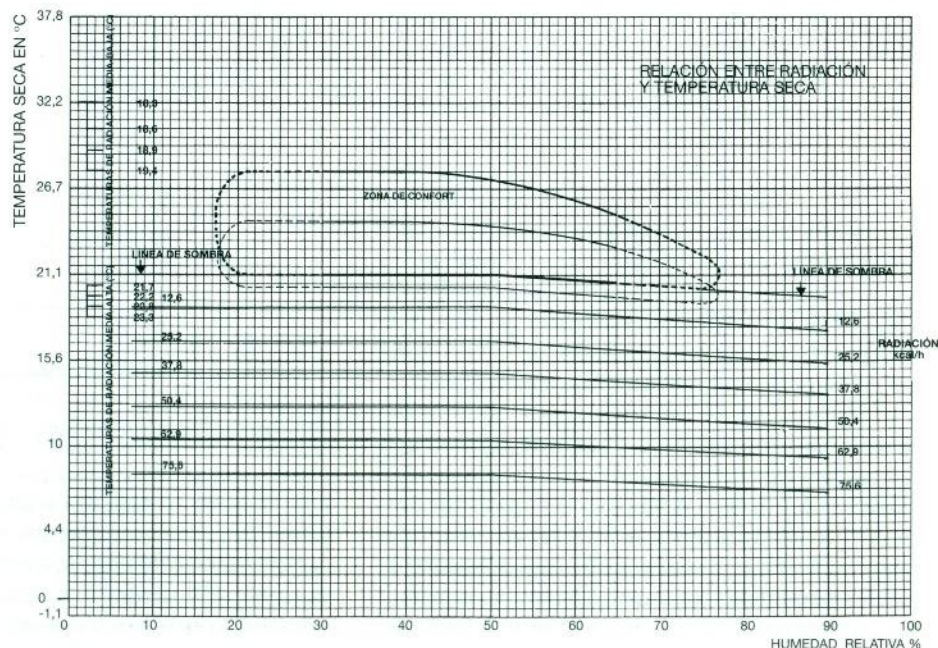
Es posible producir frío de evaporación mecánicamente y también, hasta cierto punto, utilizando árboles, vegetación, estanques o fuentes. Esto es de gran importancia en climas secos donde el efecto del viento sirve de poco para bajar altas temperaturas.

El EFECTO DE LA RADIACIÓN sobre las superficies interiores puede ser utilizado en cierta forma para equilibrar temperaturas extremas del aire. Esto quiere decir, por ejemplo, que podemos sentirnos confortables a baja temperatura si la pérdida de calor de nuestro cuerpo es contrarrestada por la radiación solar. A baja temperatura (por debajo de los $21,1^\circ\text{C}$), una caída de 1°C en la temperatura del aire puede ser contrarrestada elevando la temperatura de radiación en $0,8^\circ\text{C}$.²⁵ Sin embargo, esta posibilidad tiene sus limitaciones. En la práctica, no deberíamos encontrar una diferencia mayor de 2 a $2,5^\circ\text{C}$ entre la temperatura del aire y la de las paredes.

Las curvas de radiación mostradas en la figura y expresadas en kcal, corresponden a condiciones externas solamente. Los cálculos indican que $12,6 \text{ kcal}$ de radiación solar pueden contrarrestar una caída de 2°C de temperatura seca. (Ver Apéndice A-2).



43. Efecto de la humedad añadida en altas temperaturas.



44. Relación entre la radiación y la temperatura seca.

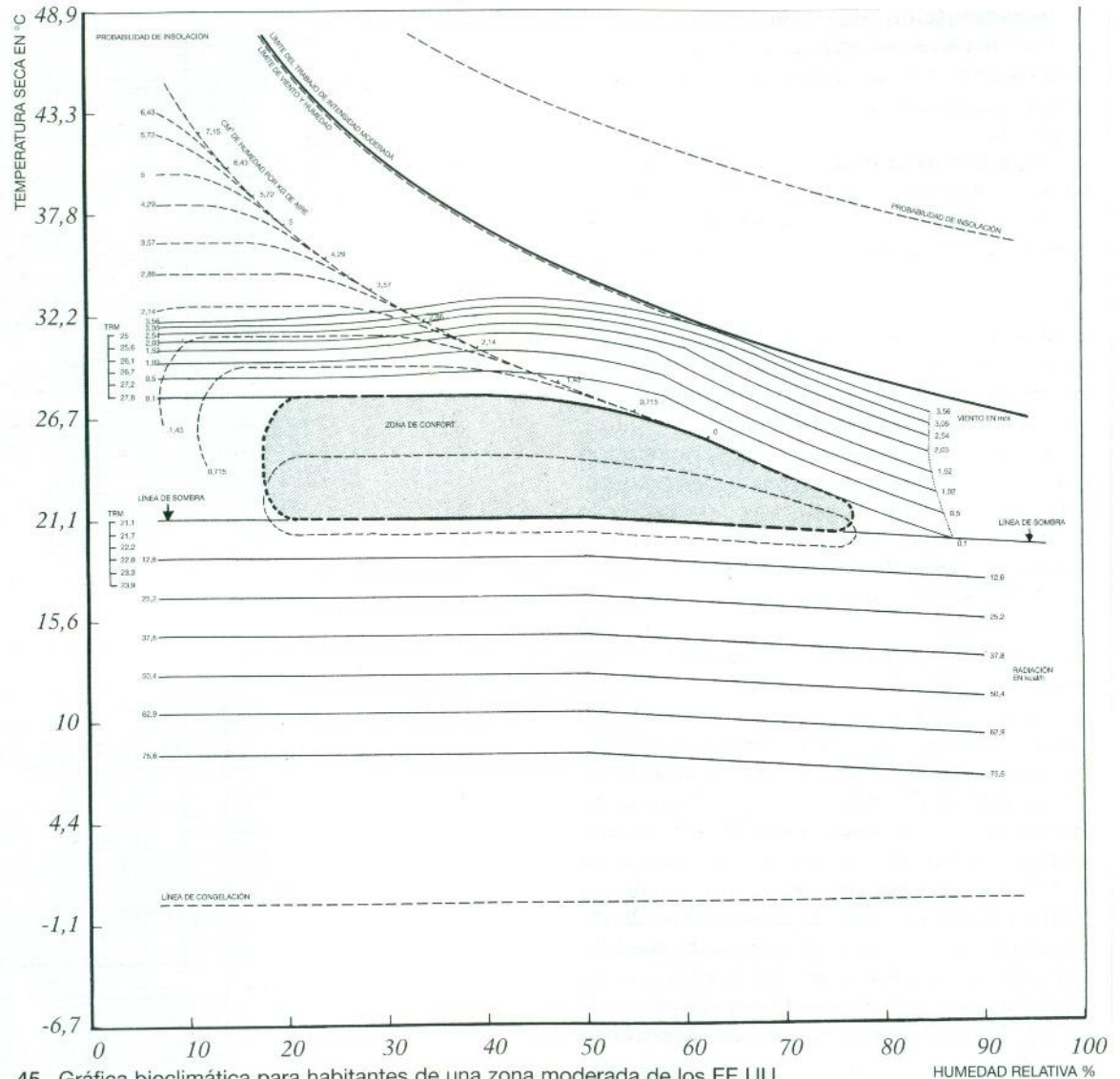
GRÁFICA BIOCLIMÁTICA

Los efectos de los elementos climáticos pueden, a partir de estudios separados, agruparse y expresarse en una gráfica única. Dicha gráfica muestra la zona de confort en el centro. Los elementos climáticos de alrededor están representados por curvas, lo cual indica la naturaleza de las medidas correctivas necesarias para recuperar la sensación de confort en cualquier punto situado fuera de la zona. Esta gráfica puede aplicarse a los habitantes de zonas climáticas moderadas de Estados Unidos que no estén situadas muy por encima de los 305 m de altura sobre el nivel del mar, vistiendo ropa normal para interior, en estado sedentario o realizando un trabajo ligero.

Una versión simplificada de la gráfica bioclimática muestra la relación de los elementos climáticos entre sí. De forma simple y diagramática, dicha gráfica expresa las necesidades climáticas de las áreas que se encuentran situadas fuera de la zona de confort.

La gráfica bioclimática se construye colocando la temperatura seca en el eje de ordenadas y la humedad relativa en el de abscisas. En medio podemos observar la zona de confort de verano, dividida en dos franjas, la deseable y la factible. La de invierno se encuentra un poco más abajo. Cualquier condición climática determinada por su temperatura seca y su humedad relativa puede dibujarse en esta gráfica. Si el punto trasladado a la tabla cae dentro de la zona de confort nos sentiremos bien a la sombra. Si el punto cae fuera de dicha zona necesitaremos aplicar medidas correctivas.

Si el punto se encuentra por encima del perímetro superior de la franja de confort significa que se necesita viento. La forma en que el efecto del viento sirve para recuperar la sensación de confort desplazando las altas temperaturas, se expresa en la gráfica con líneas paralelas próximas que siguen el límite superior del perímetro de la zona de confort. Los números indican las velocidades de viento necesarias en valores de metros por segundo.



45. Gráfica bioclimática para habitantes de una zona moderada de los EE UU.

Si la temperatura es alta y la humedad relativa baja nos sentiremos demasiado secos y calientes, en este caso los vientos no ayudan demasiado. El frío por evaporación es el elemento adecuado para combatir las altas temperaturas. Las líneas a puntos indican los cm^3 de humedad por cada kilogramo de aire necesarios para re-

ducir las temperaturas al nivel situado en el perímetro superior de confort.

En el perímetro inferior de la franja de confort se encuentra una línea divisoria, los puntos situados por encima de la misma necesitan sombra, por el contrario, los que se encuentran en la parte de abajo lo que necesi-

sitan es radiación para contrarrestar las temperaturas secas tan bajas. Los índices de kcal necesarias para restituir la sensación de confort están expresados para el exterior solamente.

A la izquierda de la gráfica aparecen señalados los valores de temperatura de radiación, ya sea radiación de calor o impulsión de frío, necesarios para recuperar la sensación de confort.

UTILIZACIÓN DE LA GRÁFICA BIOCLIMÁTICA

No es necesario aplicar ninguna medida correctora en aquellos puntos cuya temperatura seca y humedad relativa conocidas se encuentran dentro de los límites de la franja de confort. Las medidas correctoras para cualquier punto situado fuera de la misma pueden tomarse directamente de la gráfica.

Por ejemplo, para una temperatura seca de 23,8 °C, humedad relativa del 50 %; *Medida correctiva*: ninguna, el punto se encuentra en la zona confortable.

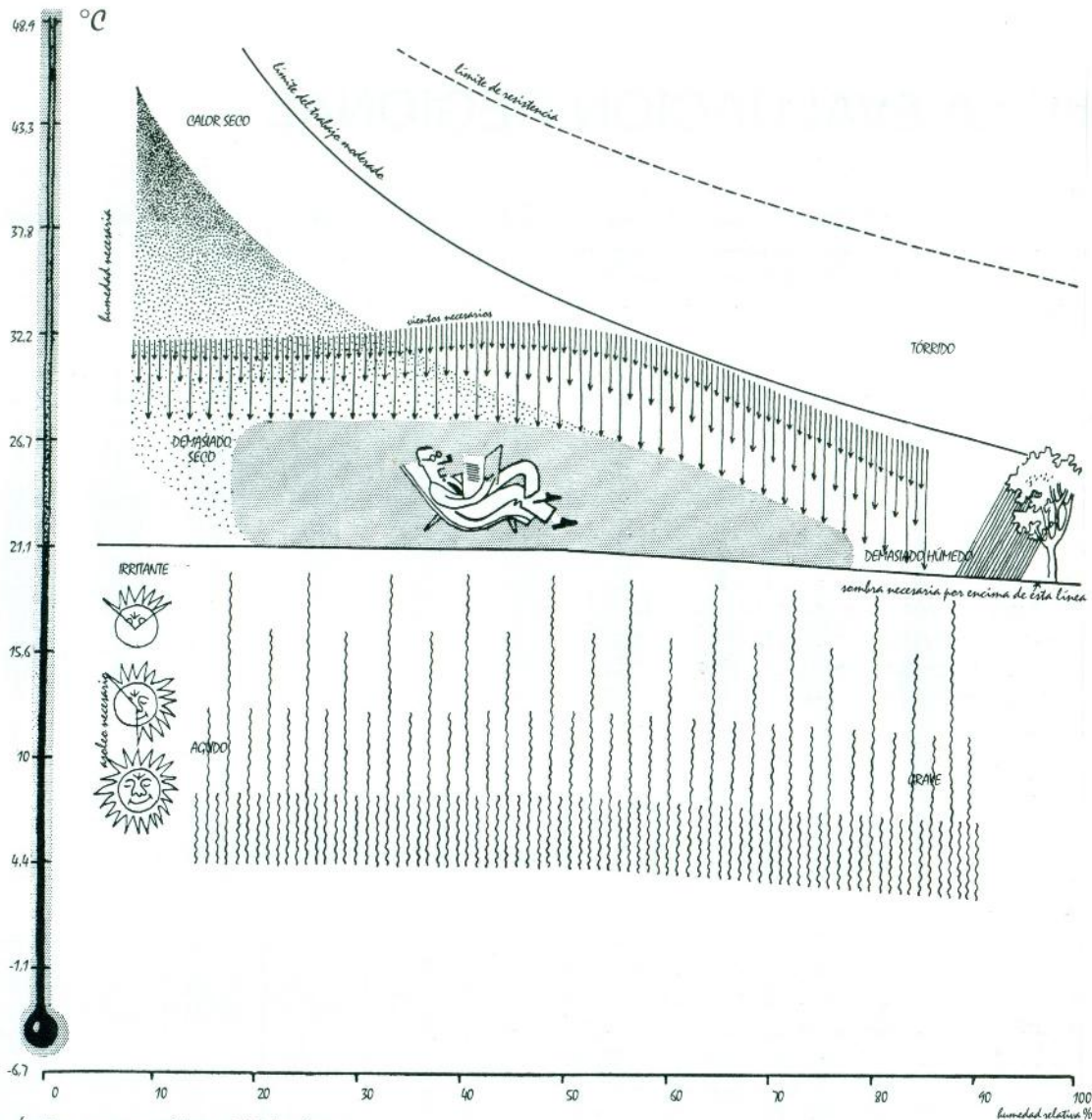
A temperatura seca de 23,8 °C, humedad relativa del 70 %; *Medida correctiva*: vientos de 1,42 m/s para contrarrestar la presión de vapor.

A temperatura seca de 10 °C, humedad relativa del 56 %, *Medida correctiva*: 65,5 kcal/h de radiación solar.

A temperatura seca de 30,5 °C, humedad relativa del 30 %, *Medida correctiva*: puede ser de dos tipos: (1) vientos de 1,52 m/s; o bien, (2) frío de evaporación añadiendo 1,144 cm³ de humedad por cada kg de aire.

A temperatura seca de 35 °C, humedad relativa del 20 %, *Medida correctiva*: no es suficiente solución la aplicación exclusiva de vientos. Incluso vientos de 3,6 m/s deben suplementarse con 1,29 cm³ de humedad por cada kg de aire. Por otra parte, el frío de evaporación puede hacer descender la temperatura al nivel de confort si se le añaden 3,146 cm³ de humedad por cada kg de aire.

La evaluación bioclimática es el punto de partida para cualquier proyecto arquitectónico

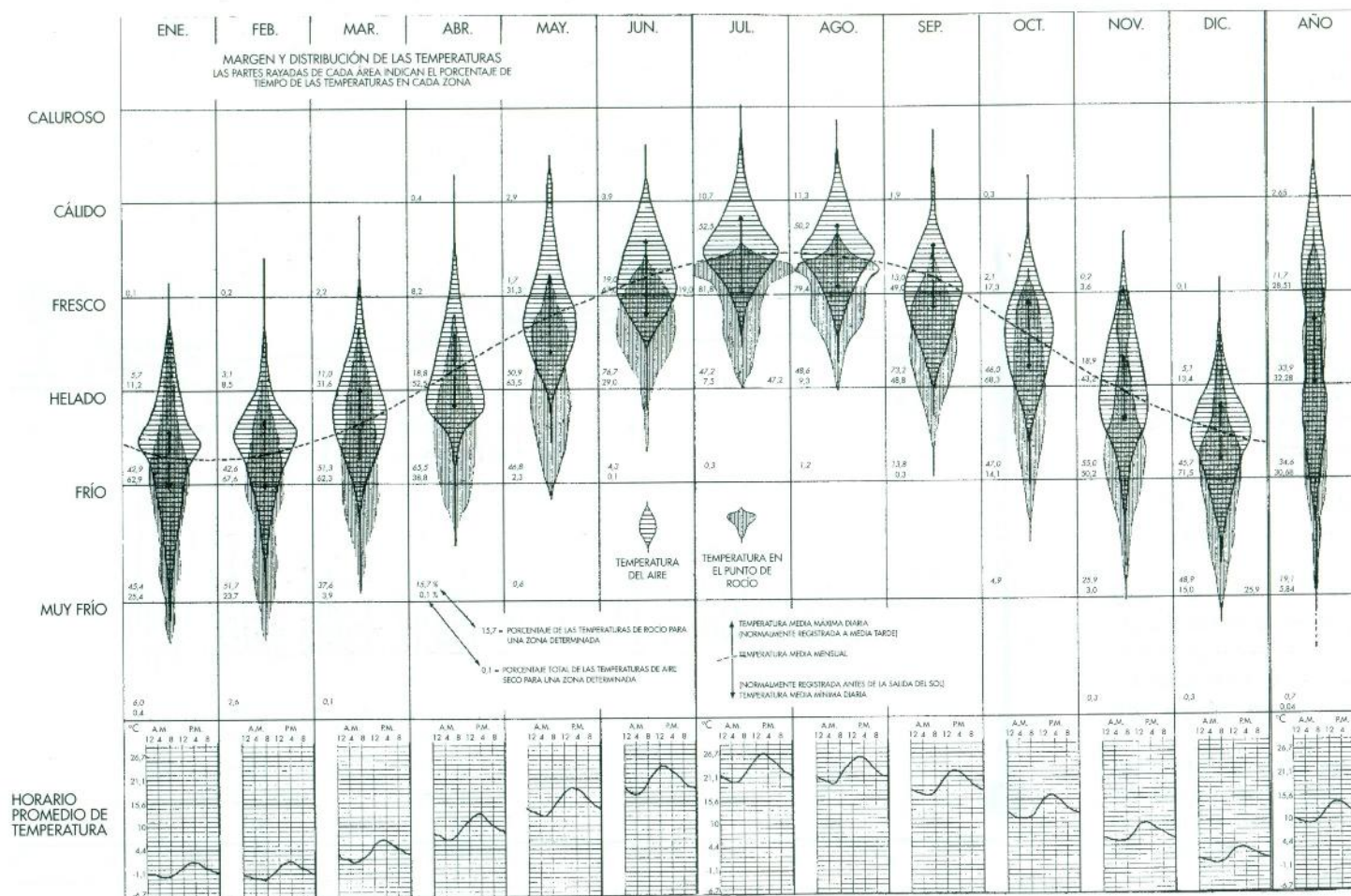


46. Índice esquemático del bioclima.

que aspire a proporcionar un entorno climático equilibrado. Las condiciones climáticas predominantes de un lugar pueden graficarse fácilmente en la tabla, y ésta mostrará cuáles son las disposiciones correctivas necesarias para alcanzar el estado de confort. Muchas de esas medidas pueden conseguirse por medios naturales, es decir, adaptando el diseño arquitectónico a los elementos climáticos existentes. Otros proble-

mas, cuya resolución se encuentra fuera de las posibilidades naturales, deberán ser remediados mecánicamente, por ejemplo, con aire acondicionado. Es tarea del arquitecto la utilización máxima de todos los medios naturales para producir una vivienda lo más sana y agradable posible, al mismo tiempo deberá buscar el ahorro en los costes, reduciendo al mínimo la necesidad de ayudas mecánicas para el control climático.

III. LA EVALUACIÓN REGIONAL



47-48. Análisis climáticos regionales para el área metropolitana de Nueva York-Nueva Jersey.

EVALUACIÓN CLIMÁTICA POR REGIONES

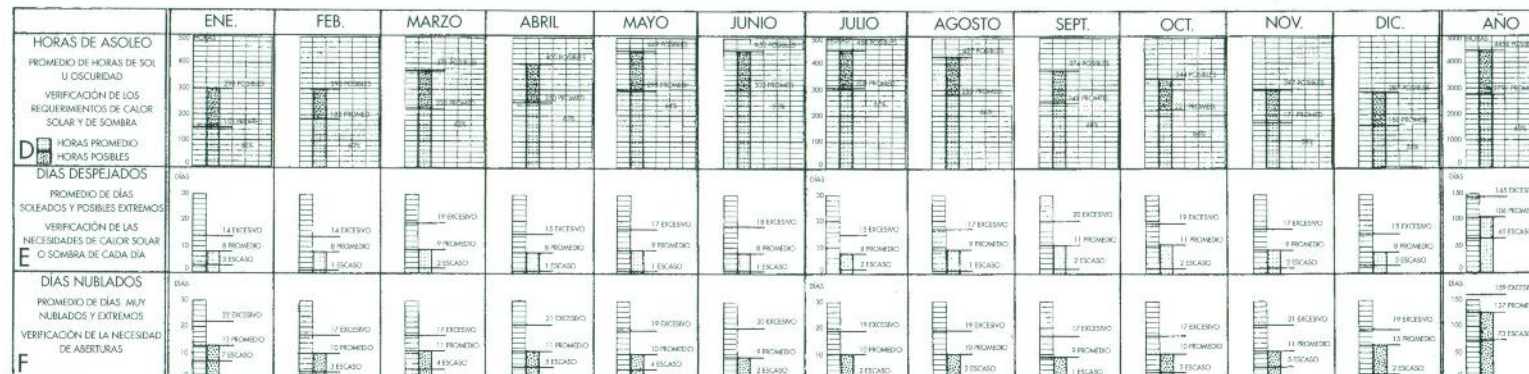
La gráfica bioclimática sitúa los problemas y describe las medidas a adoptar para resolverlos, con el fin de conseguir el nivel de confort humano adecuado en las diferentes condiciones climáticas. Para aplicarla en la evaluación

de la situación climática de un lugar específico, es preciso realizar un análisis detallado que abarque todo el ciclo anual. Los datos climáticos locales proporcionados por una estación meteorológica darán la información necesaria al arquitecto para que pueda desarrollar su propia evaluación. Por otra parte, también se han publicado excelentes análisis regionales

enfaticando la importancia de la climatología y del control climático en el diseño residencial.¹ Información técnica más detallada, desarrollada por el Dr. P. Siple en relación con este tema, ha sido publicada desde 1949 por el American Institute of Architects (AIA).²

Mediante gráficos e información detallada de proyectos, los análisis del AIA contienen:

ANÁLISIS SOLAR



ANÁLISIS DEL VIENTO



ANÁLISIS DE LA HUMEDAD



ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES



A. *Análisis térmico.* Los gráficos en forma de hoja indican el tipo y la distribución de la temperatura; superponiéndolas, aparece el punto de rocío. También se tabula el ciclo diurno de la temperatura media y su variación diaria.

B. *Análisis solar.* Se indican en el gráfico: las horas de sol, interrumpidas cuantitativamente por días claros o nublados, la cantidad

media de calor producido por la radiación solar sobre una superficie horizontal y la dirección del sol según su altura y recorrido.

C. *Análisis del viento.* Se especifican: velocidad y dirección de los vientos, patrones de tormenta y días de menor viento.

D. *Análisis de las precipitaciones.* La cantidad de precipitaciones y de nieve, así como

también el promedio máximo de lluvias. Días lluviosos, nevados y días con mucha niebla o con tormentas eléctricas se evalúan de acuerdo con su distribución media anual.

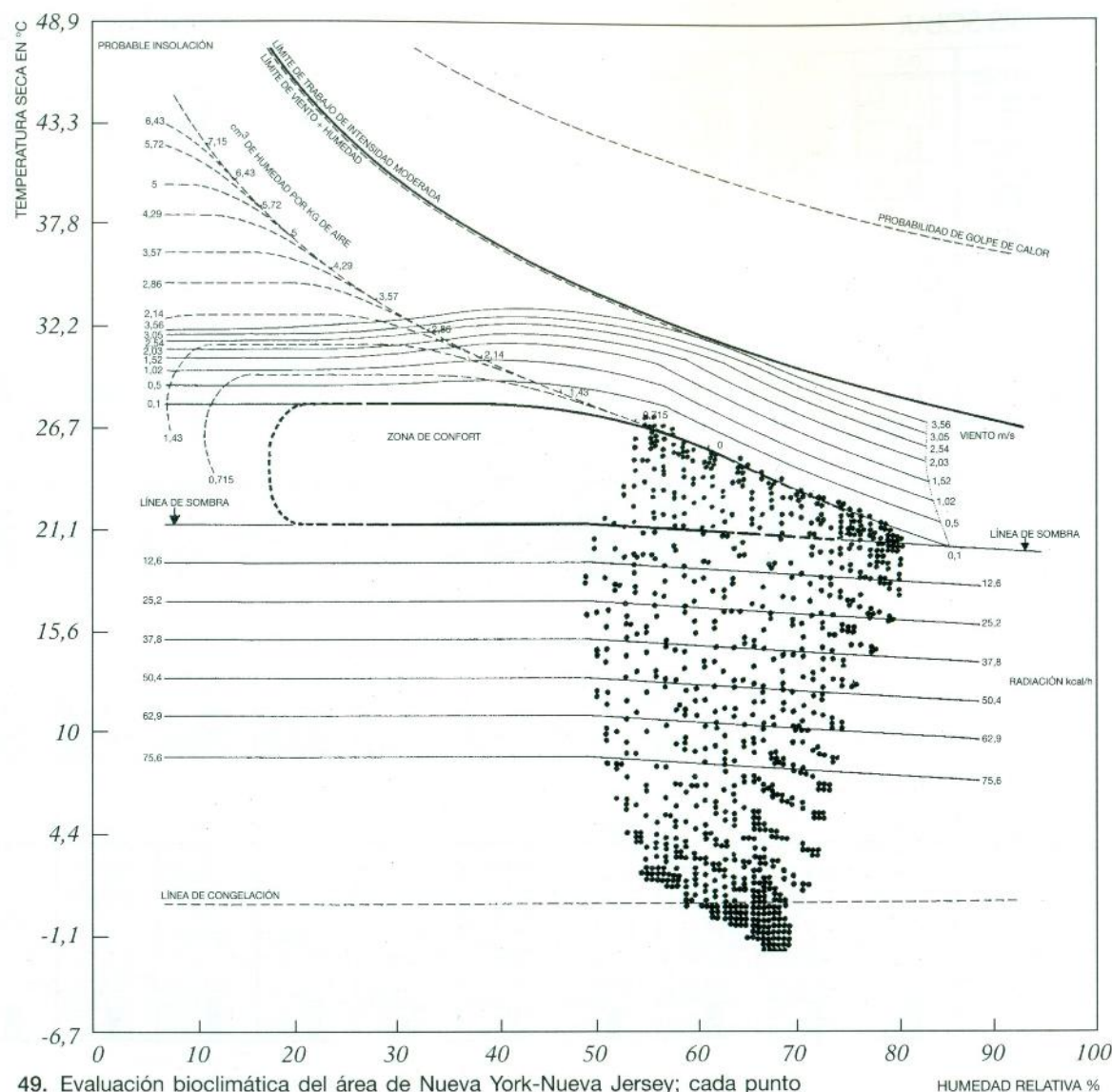
E. *Análisis de la humedad.* Se especifican los porcentajes promedio de humedad relativa y los índices medios y extremos de la presión de vapor.

Las figuras muestran un análisis climático regional correspondiente al área metropolitana de Nueva York y Nueva Jersey. La reproducción que realizamos aquí de estos gráficos es de forma abreviada, conteniendo solamente los datos climáticos más importantes para el cálculo y la evaluación, que se discutirán posteriormente. (En esta publicación, si no se indica lo contrario, la información que se ha utilizado procede de las tablas del AIA.)

Los datos del AIA corresponden a condiciones climáticas generales –macroclima– de cualquier región; toda aplicación específica deberá tener en cuenta cualquier modificación necesaria para la adaptación del edificio a su entorno más próximo –microclima. Esto incluye la topografía, el grado de exposición, las obstrucciones, la capa natural vegetal, etc., de un lugar determinado. Por otra parte, debido a que el departamento meteorológico realiza sus observaciones a nivel de cubierta, los datos deben adaptarse a la altura humana, aproximadamente 1,80 m sobre del suelo.³ Los datos meteorológicos correspondientes a temperatura y humedad relativa pueden utilizarse con precisión adecuada, pero los índices de velocidad del viento deben reducirse considerablemente (ver Capítulo IV).

NECESIDADES BIOCLIMÁTICAS POR REGIONES

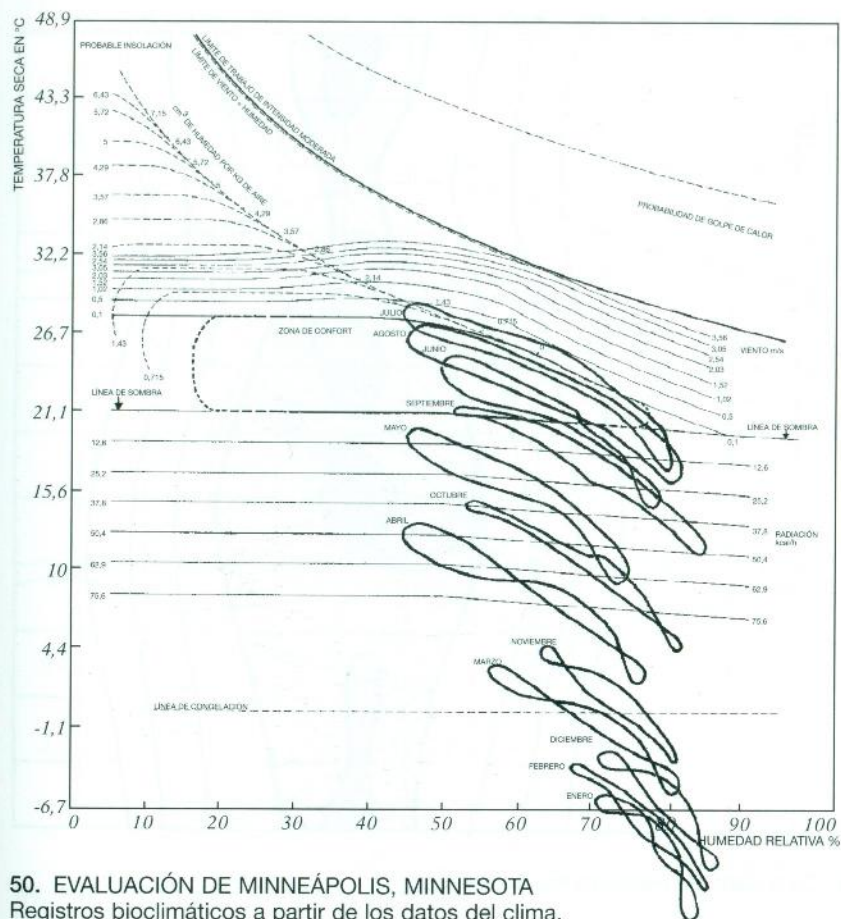
La evaluación regional de una situación climática debe aplicarse a la gráfica bioclimática. Si grafiamos sobre la misma, a intervalos regulares, una combinación de datos de temperatura y humedad relativa, obtendremos las características generales de la región. Puede realizarse con datos correspondientes a condiciones máximas o mínimas, según el objetivo. La figura muestra una evaluación media anual de las características del área de Nueva York-Nueva Jersey. Cada punto representa un dato por hora, en intervalos de cada diez días, a lo largo de todo el año. Tomando en cuenta la cantidad de puntos que



49. Evaluación bioclimática del área de Nueva York-Nueva Jersey; cada punto representa los valores diarios medidos en periodos de diez días durante el año.

se encuentran en diferentes categorías de sensación, podemos evaluar la importancia relativa de los diferentes elementos climáticos –sombra, radiación, viento, etc., necesarios. Y a partir de este análisis bioclimático podemos trasladar los datos a una gráfica anual.

Es posible decir, en términos generales, que existen cuatro zonas climáticas principales en Estados Unidos. Aquí se exponen cuatro regiones seleccionadas para representar los climas frío, templado, cálido-árido y cálido-húmedo: Minneapolis, Minnesota; la zona me-



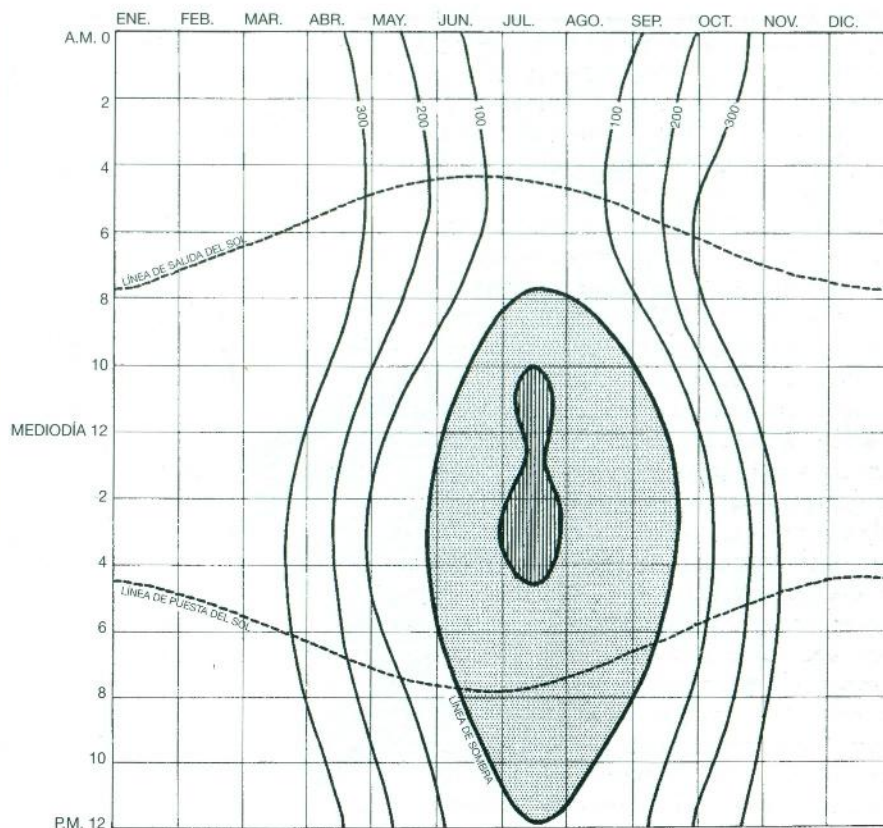
50. EVALUACIÓN DE MINNEÁPOLIS, MINNESOTA
Registros bioclimáticos a partir de los datos del clima.

tropolitana de Nueva York y Nueva Jersey; Phoenix, Arizona; y Miami, Florida. A lo largo de todo el libro los problemas se analizan a partir de esos puntos. Aunque en cierta forma es arbitraria, la selección de estas muestras de clima ofrecen la posibilidad de comparar diversos ambientes y sus efectos sobre los principios arquitectónicos y sus elementos constructivos.

En estas gráficas regionales la situación climatológica de un día promedio de cada mes aparece expresada en la gráfica bioclimática. Los datos apuntados cada 24 horas por quince días aparecen como curvas cerradas. Estas curvas son intervalos elegidos de una espiral continua que se mueve hacia arriba hasta julio para

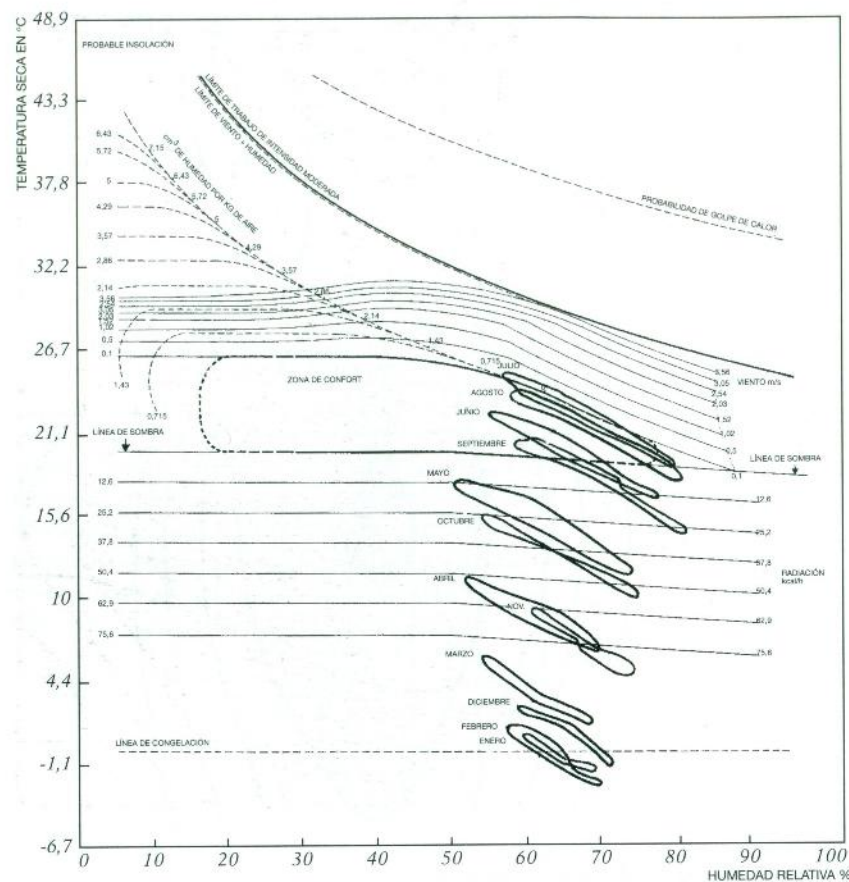
luego descender hacia enero. Se llegó a la conclusión de que esta selección es adecuada para su interpretación y proporciona una clara visión de la situación climática durante todo el año.

Cuando trasladamos el análisis climático a una gráfica anual, las necesidades pasan a un calendario, donde los elementos climáticos variables de cada día pueden leerse verticalmente. Con una diagnosis de este tipo puede evaluarse la importancia relativa de las diferentes necesidades —por ejemplo: la radiación (indicada en líneas completas hasta una intensidad de 76 kcal), la sombra (área de puntos en los períodos cálidos) o los efectos del viento (con una línea indicativa), etc.



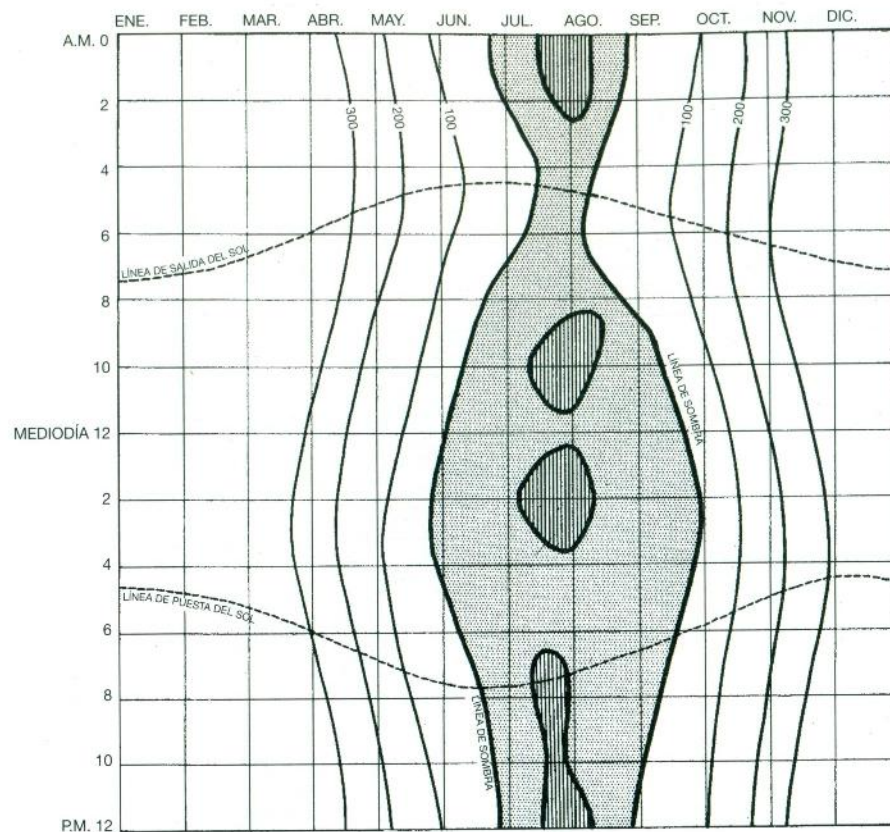
51. Calendario de necesidades climáticas.

MINNEÁPOLIS, MINNESOTA. Nótese la fuerte pendiente de las curvas de temperaturas que indican las variaciones entre día y noche, y la baja distribución anual de temperaturas. De acuerdo con estos datos, las gráficas de evaluación indican la importancia de las radiaciones durante todo el año, (incluso en las primeras horas de los días veraniegos). En más de la mitad del período frío, las necesidades de calor no pueden satisfacerse por medios naturales. Durante las horas del día (de 7.00 a 19.00 horas) el requerimiento medio será: calor del sol 76 %, sombra 24 %, protección del viento 76 %, brisas refrescantes 4 %; el 15 % del tiempo puede estarse confortable a cubierto.



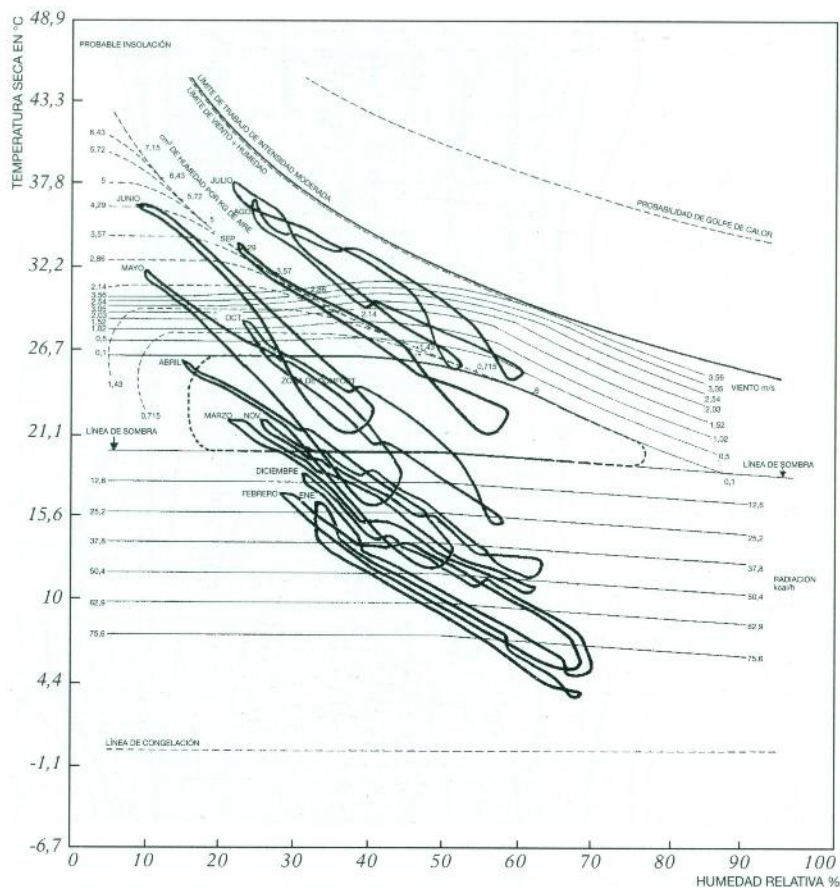
52. EVALUACIÓN DEL ÁREA DE NUEVA YORK.

Registros bioclimáticos a partir de los datos del clima.



53. Calendario de necesidades climáticas.

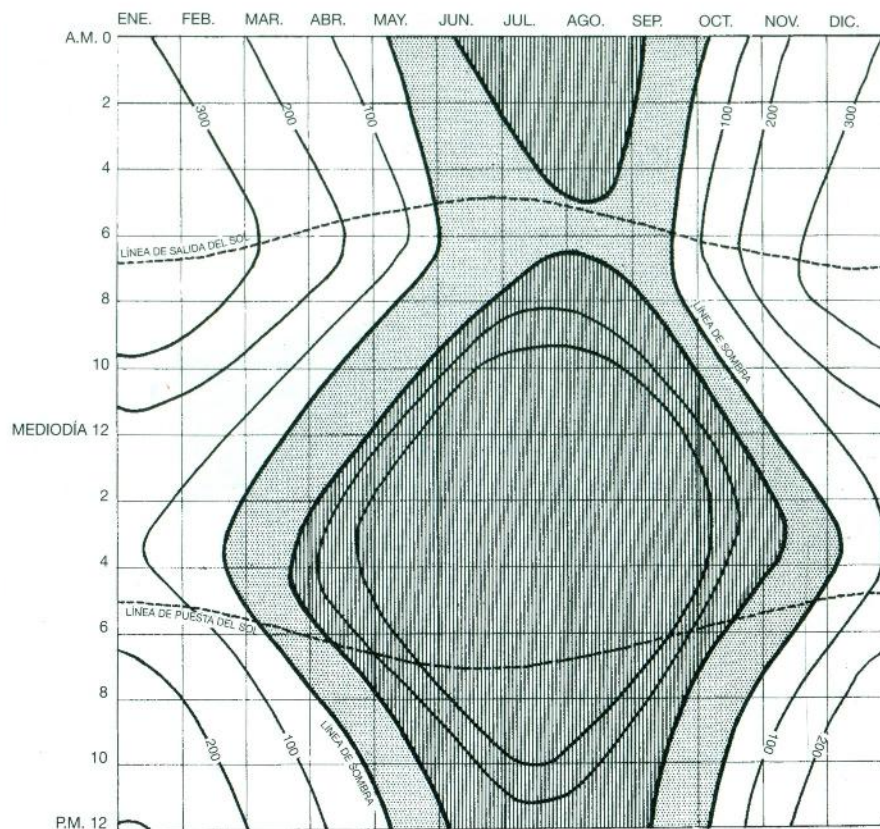
ZONA DE NUEVA YORK Y NUEVA JERSEY. En invierno, tanto la distribución de la humedad relativa como la de la temperatura oscilan entre unos límites más estrechos que durante las épocas de mayor calor. En general, puede situarse en el área húmeda. La gráfica de evaluación indica un largo período de tiempo sombreado donde se hace necesario el efecto del viento para contrarrestar tanto las altas temperaturas como la presión de vapor. Durante las horas de sol las necesidades anuales medias son: 72 % de calor solar, 28 % de sombra, 72 % de protección del viento, 7 % período de brisas; el 21 % del tiempo puede considerarse como confortable bajo sombra.



54. EVALUACIÓN DE PHOENIX, ARIZONA.

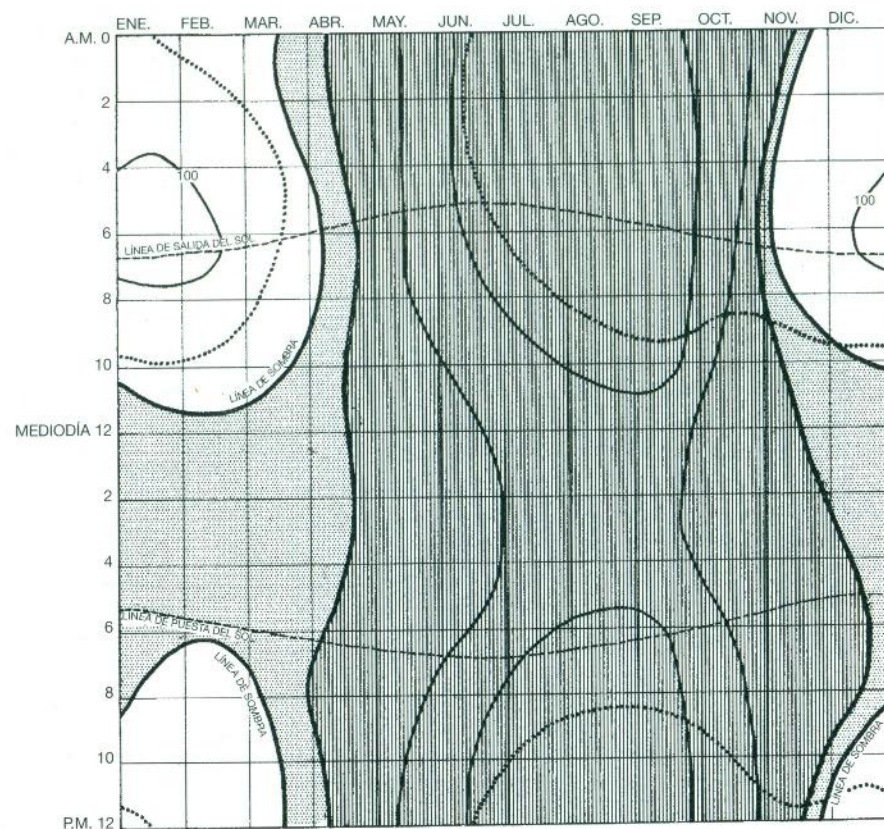
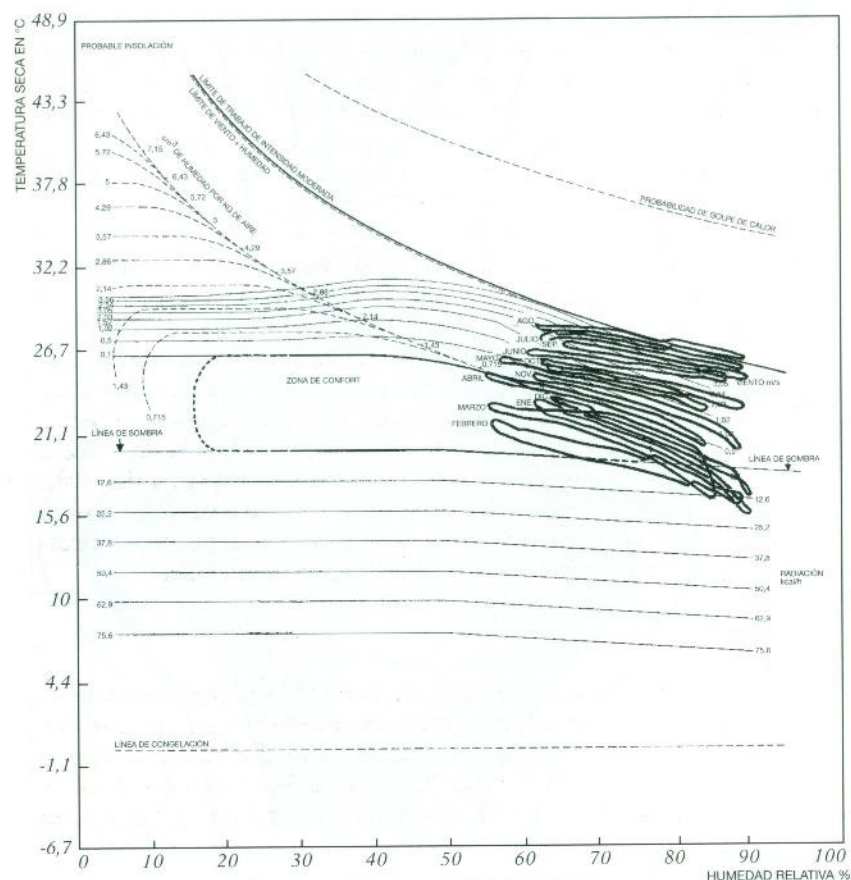
Registros bioclimáticos a partir de los datos del clima.

PHOENIX, ARIZONA. Las curvas de las temperaturas diurnas tienen una marcada pendiente que señala una amplia franja de calor durante todo el día. Su situación general se encuentra en la zona de baja humedad. La distribución anual de temperatura varía en un rango pequeño y, durante el invierno, los máximos y mínimos se encuentran muy cerca de la zona de confort, por esto es muy conveniente mantener estas condiciones. Sin embargo, la gráfica indica cambios bruscos, por ejemplo, hay días (como el 1 de mayo) en los que la temperatura se eleva desde niveles fríos hasta extremos tales que ni siquiera fuertes movimientos del aire sirven para resti-



55. Calendario de necesidades climáticas.

tuir la situación de confort. Nótese que en el área de vientos (sección de líneas verticales) las líneas indican períodos en los cuales serían necesarias ráfagas de viento superiores a los 1,52 m/s. Debido a que tan altas velocidades serían molestas para la vida humana, se hace necesario aplicar otro tipo de soluciones tales como frío de evaporación, ayudado por la inercia calorífica de los materiales. Durante las horas del día, las necesidades anuales medias son: calor solar 37 %, sombra 63 %, protección del viento 37 %, período de brisas 19 %, otro tipo de medidas refrescantes adicionales 28 %; el 16 % del tiempo se encuentra en confort a la sombra.



Estos análisis regionales demuestran las diferencias entre los distintos entornos climáticos. Las evaluaciones bioclimáticas dan una visión general de la relación entre condiciones de confort y situación climatológica, con información detallada sobre la importancia de los elementos climáticos según el lugar de asentamiento. Las gráficas anuales de evaluación indican qué elemento, en qué momento y con qué intensidad debe modificarse para recuperar la sensación de confort.

Debe mencionarse que dichas gráficas no sólo contienen información relacionada con los elementos climáticos más importantes, sino también acerca de otros aspectos. Durante los períodos fríos deben aplicarse todas las técnicas posibles para preservar el calor, aprovechar la radiación y evitar las pérdidas. Lo mismo que en épocas calurosas, en las que buscaremos la sombra, reducir la radiación hacia el interior y mejorar la que se expulsa hacia el exterior, y controlar los picos de temperatura con emisiones moderadas.

Una persona especializada puede, con un simple vistazo a las gráficas, detectar y “diagnosticar” los requerimientos arquitectónicos propios de una región. A partir de las necesidades de radiación pueden deducirse la orientación, el tamaño y la disposición de las aberturas.

La franja correspondiente a períodos de calor muestra el grado de necesidad de incluir elementos que proporcionen sombra. La inclinación de los bordes del período de calor es similar a la inercia requerida en una edificación. Y por encima de todos los niveles de necesidades existe una indicación acerca de los requerimientos de aislamiento.

Estas gráficas han sido elaboradas para condiciones climáticas medias. Este criterio parece ser un parámetro válido para aquellas estructuras en las cuales la necesidad más importante es la de mantener el equilibrio en circunstancias normales. Sin embargo, en aquellos proyectos en los cuales existen condiciones que deben tomarse en consideración (como, por ejemplo, al calcular los movimientos del aire para determinar los tamaños necesarios de las aberturas), las gráficas de temperaturas máximas pueden dar una respuesta adecuada.

Cuando se conocen profundamente los elementos climáticos y las necesidades bioclimáticas de un lugar específico es posible determinar el balance de las fuerzas naturales que soportará una edificación. Los aspectos positivos –radiación solar en períodos fríos, sombra en épocas calurosas, ventilación en lugares húmedos– deben considerarse en relación a las necesidades específicas.

La estructura ideal construida en el lugar idóneo debe procurar que todas las sensaciones físicas que se produzcan en su interior se encuentren dentro de la franja de confort. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las tensiones naturales son demasiado numerosas para alcanzar este objetivo; las fuerzas compensatorias pueden bloquearse por la interacción de los componentes constructivos, o estar limitadas por consideraciones prácticas, o simplemente no poder disponer de ellas cuando se necesitan. No obstante, una vez se han agotado las fuerzas ambientales deberá recurrirse al acondicionamiento mecánico. Aunque algunos aspectos parciales deban resolverse a través de medios mecánicos, una edificación que mantiene sus constantes ambientales cerca de los requerimientos de confort fisiológico, puede calificarse como climáticamente equilibrada.

La segunda parte de este libro (Capítulos 5 al 11) tratarán acerca de la interpretación climática en relación a los principios arquitectónicos, a los elementos constructivos y al conjunto estructural. Previamente, sin embargo, deben discutirse los métodos de cálculo relacionados con los elementos climáticos.

IV. ELEMENTOS CLIMÁTICOS

FACTORES DEL CLIMA

La CLIMATOLOGÍA es el compendio de todas las variables meteorológicas. En todo momento los elementos aparecen combinados, dificultando así la determinación de su importancia relativa en la interacción térmica. Las soluciones arquitectónicas a los diferentes problemas climáticos concretos deben tener en cuenta el conjunto de todos ellos, de esta forma se logrará una estructura climáticamente equilibrada. Para alcanzar este objetivo, el método a seguir para evaluar la importancia y la relación entre los elementos del clima, debe adaptarse a las necesidades de la práctica constructiva. Partiendo del enfoque de este libro, la discusión se centrará en los elementos –temperatura, radiación y efectos del viento– que afectan de forma determinante a las sensaciones del confort humano. Las consecuencias de la humedad, tales como lluvia, nieve, hielo, niebla o presión de vapor, serán tratadas en los capítulos correspondientes a medidas contrarrestadoras.

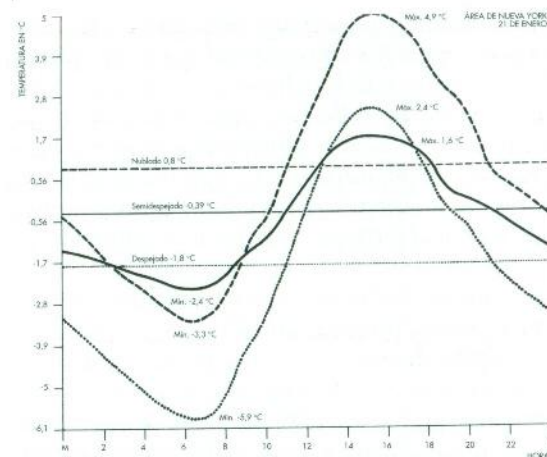
Tanto las variaciones diarias como anuales de la temperatura atmosférica están definidas según la energía solar. Así, tanto la temperatura como la radiación deben tomarse en cuenta al proyectar. Las fechas generalmente aceptadas (1 de febrero y 1 de agosto) no corresponden a las fechas de los solsticios (21 de diciembre y 21 de junio). Como consecuencia, se han aceptado el 21 de enero y en 21 de julio como fechas adecuadas para interrelacionar ambas condiciones.

TEMPERATURA DEL AIRE. La variación de la temperatura diurna depende del estado del cielo. En días claros, la gran cantidad de radiación solar recibida y la libre expansión de la misma originan un amplio margen de variaciones térmicas, mientras que en días nublados dicho margen es inferior. Basándonos en los cambios estaciona-

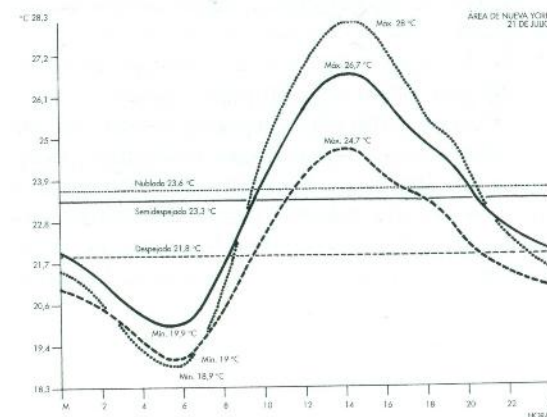
les, esta afirmación se mantiene: en verano los días claros son más cálidos ya que se recibe una mayor radiación solar; pero en invierno, un día en las mismas condiciones es generalmente más frío que uno nublado, ya que durante el período nocturno –más amplio que el diurno– el calor producido por la radiación escapa más fácilmente al encontrar una atmósfera más despejada. En la figura se muestran las curvas diurnas, correspondientes a verano y a invierno, de días despejados y cubiertos, basadas en datos medios extraídos a lo largo de 20 años en el área de Nueva York. Debido a que los datos concierne a ganancias o pérdidas extremas de radiación están incluidos en esta gráfica, las condiciones medias para un día despejado de invierno y de verano constituyen una base fiable para la estimación de la temperatura promedio.

Los datos meteorológicos disponibles de la temperatura del aire pueden utilizarse con bastante exactitud en la etapa de diseño arquitectónico. La diferencia de temperatura del aire a nivel del suelo o a las diferentes alturas que puede alcanzar un edificio es tan pequeña que, en general, puede despreciarse.

EL EFECTO DE LA RADIACIÓN. La constante solar es la cantidad de energía del sol que cae por unidad de tiempo sobre una superficie unitaria a 148.000.000 km del sol y perpendicular a sus rayos. El valor medio es de $1,94 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$. La superficie a nivel del suelo recibe una cantidad considerablemente menor debido a una serie de pérdidas que se ocasionan al atravesar los rayos solares la atmósfera terrestre. Parte de la radiación incidente se refleja en la superficie de las nubes, y parte es absorbida por los componentes atmosféricos. Una cierta cantidad es dispersada por moléculas en la atmósfera, pero parte de la misma se recupera como radiación difusa. Parte de la radiación que incide sobre el suelo es



58. Curvas típicas de invierno; comparación entre temperaturas diurnas de un día nublado, semidespejado y despejado.



59. Curvas típicas de verano.

reflejada por la superficie terrestre, pero la mayor parte de dicha energía es absorbida, se transforma en calor y eleva la temperatura del aire, del suelo y de los objetos que se encuentran a su alrededor. La intensidad de la radiación que incide sobre la superficie terrestre se incrementa con la altura respecto al nivel del mar, ya que hay menos pérdidas debidas a la atmósfera. Observaciones realizadas en un día despejado de invierno dan los siguientes resultados:¹

Altitud: 100 500 1500 4000 metros
Radiación: 0,8 1,2 1,4 1,6 cal/cm²/min

El intercambio de calor producido en verano que se ilustra aquí, se ha extraído de los estudios realizados por R. Geiger.² La cantidad de calor transferido está relacionada con el grosor de las flechas.

TRANSFERENCIA DE RADIACIÓN CALORÍFICA

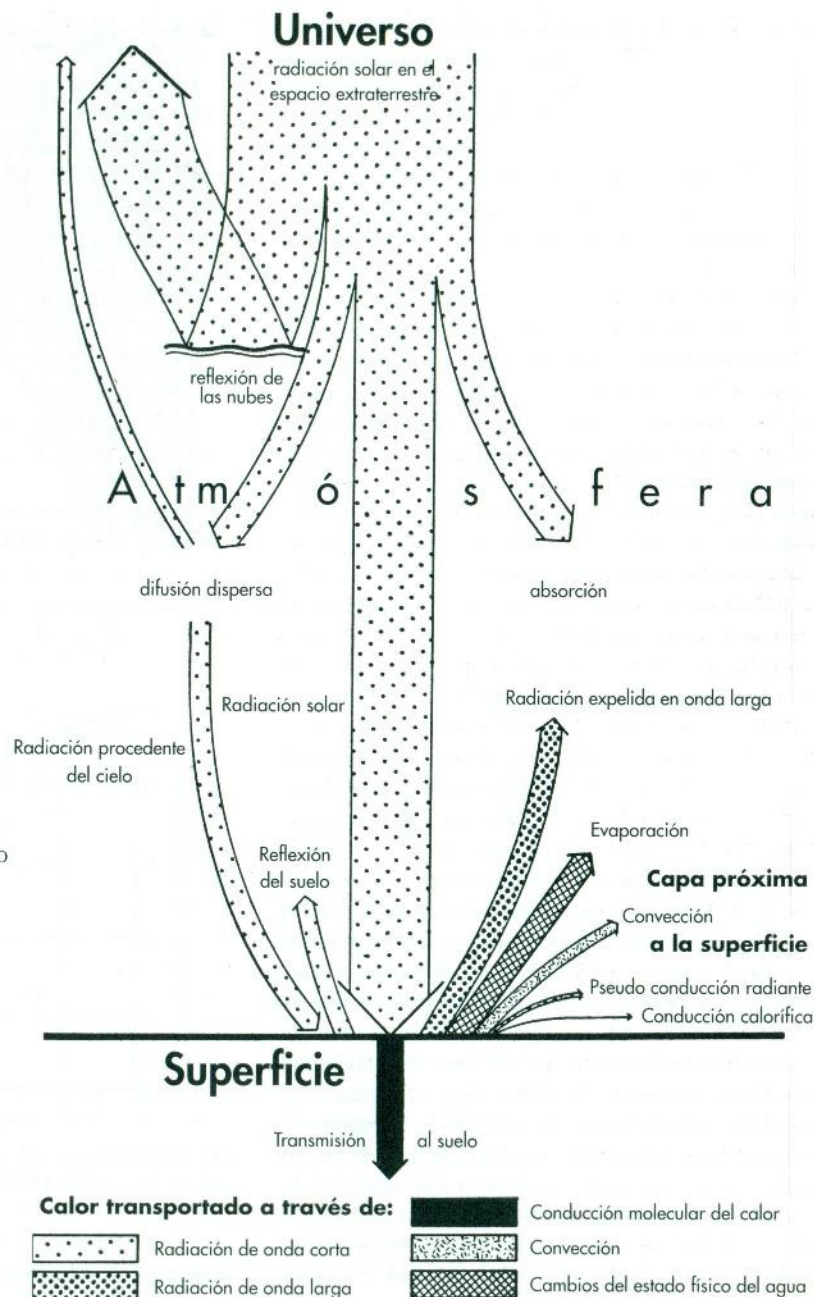
Generalmente, la transferencia de radiación calorífica que afecta a la edificación se divide en cinco tipos diferentes. Según el orden de importancia son:

1. Radiación de onda corta directa del sol.
2. Radiación difusa de onda corta procedente de la bóveda celeste.
3. Radiación de onda corta producto de la reflexión en los terrenos adyacentes.
4. Radiación de onda larga procedente del suelo y de los objetos cercanos cuya temperatura es elevada.
5. Radiación de onda larga expelida en intercambio desde el edificio hacia el cielo.

Los efectos de las temperaturas radiantes medias en espacios cerrados serán objeto de discusión en la página 39.

RADIACIÓN PRODUCIDA POR LA REFLEXIÓN EN LOS TERRENOS ADYACENTES (3). La energía solar que incide sobre una superficie horizontal en tiempo caluroso es aproximadamente el doble de la que cae en una vertical; así, las superficies horizontales que rodean los edificios reflejan una importante cantidad del calor que sobre ellos incide. Este flujo de calor puede constituir un valor considerable; la cantidad depende de la exposición y reflectividad del terreno inmediato. La tabla adjunta indica los porcentajes de reflexión de varios tipos de superficie.³

PORCENTAJE DE INCIDENCIA DE RADIACIÓN SOLAR REFLEJADA DIFUSAMENTE	
TIPO DE SUPERFICIE	% REFLEJADO
Suelo seco	10-25
Suelo húmedo	8-9
Arena seca	18-30
Arena húmeda	9-18
Tierra orgánica seca	14
Tierra orgánica húmeda	8
Roca	12-15
Hierba seca	32
Campos de hierba verde	3-15
Campos frondosos de hojas verdes	25-32
Bosques densos	5
Desierto	24-28
Salinas	42
Ladrillos, según el color	23-48
Asfalto	15
Área urbana de la ciudad	10



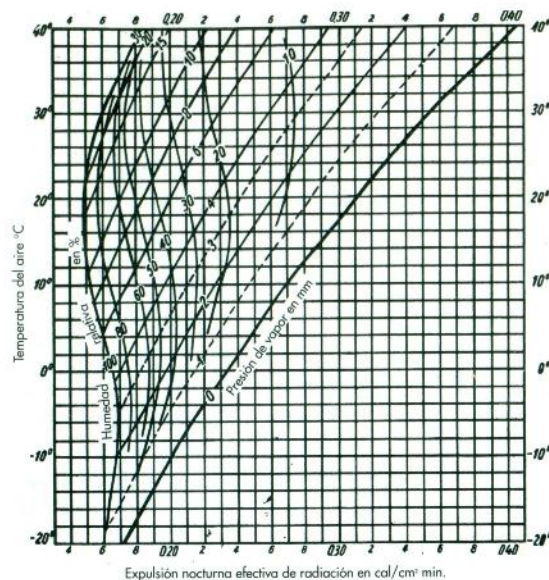
60. Intercambio calorífico al mediodía de un día de verano. (El grosor de las flechas corresponde a las cantidades transferidas).

Para reducir el impacto de las radiaciones reflejas es necesario rodear la vivienda con una superficie poco reflectante. La solución arquitectónica para este tipo de disposiciones puede determinarse invirtiendo el método de cálculo de proyección, ya que el ángulo de reflexión de los rayos, aunque difuso, corresponde aproximadamente con el ángulo de incidencia solar.

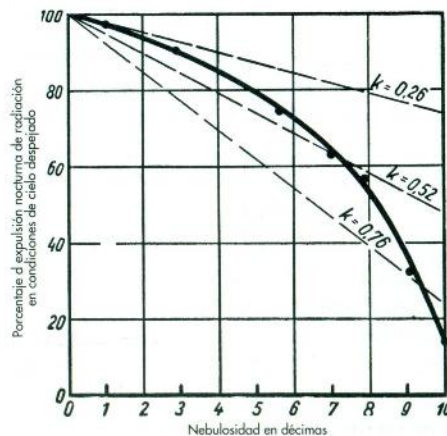
RADIACIONES DE ONDA LARGA PROCEDENTES DE SUELOS CON TEMPERATURA ELEVADA. El suelo y los objetos calefactados por la radiación solar que se encuentran cerca de las edificaciones pueden producir un sustancial aumento de temperatura. Investigaciones realizadas en regiones áridas han certificado temperaturas superficiales que van desde los 45 °C (con temperatura ambiente de 36,7 °C) hasta los 62,22 °C (con temperatura ambiente de 46,7 °C) y, en días despejados de verano, se ha llegado a una temperatura del suelo de 71,1 °C.⁴ Construcciones expuestas a dichas condiciones ganarán una apreciable cantidad de calor.

Es difícil determinar este impacto indirecto, ya que no depende solamente del material con que esté realizado el edificio, sino también de los intercambios de radiación, que se modifican según varían las diferencias de temperatura entre los diferentes elementos. No obstante, es posible estimar aproximadamente dicho impacto analizando una muestra de temperaturas sobre una superficie y las compensaciones por intercambio de calor (ver Capítulo XI).

RADIACIÓN DE ONDA LARGA EXPELIDA. El equilibrio calorífico terrestre implica que el promedio anual de radiación expelida desde la tierra hacia la atmósfera debe estar equilibrada con la cantidad de radiación solar recibida. La intensidad de la radiación expulsada no es siempre uniforme, varía con las estaciones, y hacia los polos decrece de un 10 % hasta un 20 %.⁵ Los valores utilizados generalmente han sido calculados por R. Geiger.⁶ Él afirma que, asumiendo un cielo despejado, la radiación expelida efectiva es inversamente proporcional a la humedad relativa. En



61. Dependencia de la expulsión efectiva (R) de la temperatura (t) y del contenido de vapor de agua (presión en mm y humedad en %).



62. Dependencia de la radiación efectiva en condiciones de cielo nublado (teoría y observación).

condiciones de días nublados, el retorno de la radiación reflejada en las nubes aumenta y la expulsada hacia la atmósfera disminuye. F. Lauscher calculó la relación entre la radiación y la atmósfera nublada; sus gráficas revelan también

Ángulo por encima del horizonte (°)	9 p. m.	10 p. m.	11 p. m.	12 p. m.	1 a. m.	2 a. m.	3 a. m.	4 a. m.	5 a. m.	6 a. m.
0	31,1	29,4	27,8	27,8	27,8	26,1	25,6	25,6	24,4	26,1
10	28,9	27,8	26,7	26,7	25,6	25	23,3	23,3	22,8	24,4
20	27,8	26,1	24,4	24,4	24,4	22,8	22,2	21,1	21,7	22,2
30	25,6	23,9	22,2	22,2	22,2	21,1	20,6	19,4	18,9	20
40	23,9	21,7	20	21,1	20	18,3	17,8	17,2	17,2	18,3
50	22,8	20,6	17,8	19,4	18,9	17,2	17,2	15,6	16,1	17,2
60	22,2	20	17,8	18,3	17,8	16,7	16,1	15	13,9	15,6
70	21,1	18,9	17,8	18,3	17,2	16,7	15,6	15	13,3	14,4
80	19,4	17,8	17,2	17,8	16,1	16,1	15	13,9	12,8	13,9
90	17,8	17,8	17,2	17,8	16,1	16,1	13,9	13,9	12,8	13,9
Temperatura del aire °C	32,8	30	27,8	28,9	27,8	27,2	26,1	26,11	24,4	26,11

Presión de vapor 15 mm Hg. Una tormenta de arena acaecida a las 6 p.m. dejó polvo fino en el aire, por la noche ya se había aclarado.

63. Temperaturas (°C) del "cielo" medidas una noche de verano en áreas próximas a Yuma, Arizona.

una disminución rápida de la radiación expelida cuando el cielo está muy cubierto.⁷ La radiación expulsada es más fuerte hacia el cenit y prácticamente nula en el horizonte. Datos recogidos por observadores del Cuerpo Quartermaster de Estados Unidos, corroboran este efecto.⁸

La radiación expelida puede constituir una importante fuente de poder calorífico para la vivienda, especialmente en las zonas áridas. Esta posibilidad no está suficientemente reconocida ni utilizada de una forma significativa en la práctica constructiva. El cálculo funcional de la radiación expulsada para el uso arquitectónico puede desarrollarse de forma similar a la desarrollada para el cálculo de la energía solar. Sin embargo, hasta el presente, la falta de datos coordinados impide llevarlo a buen término.

RADIACIÓN SOLAR DIRECTA O DIFUSA. La radiación solar es uno de los medios naturales más importantes que facilitan el proceso de calefacción de las viviendas. Como consecuencia es imprescindible, para los arquitectos, un cálculo rápido y preciso de la intensidad de dicha radiación.

La radiación que atraviesa la atmósfera se dispersa debido, principalmente, a las partículas en suspensión y a las moléculas del aire, así como a que parte de la misma se refleja difusamente en las nubes y vuelve al espacio exterior. Antes de alcanzar el suelo, la intensidad de la radiación solar disminuye debido a la existencia de impurezas en el aire y a que parte de la misma es absorbida por algunos constituyentes atmosféricos, especialmente dióxido de carbono, vapor de agua y, en niveles superiores, ozono. La energía transmitida variará entonces según la distancia que deben recorrer los rayos del sol a través de la atmósfera. Al mediodía, cuando el sol se encuentra en el punto más vertical, y por lo tanto a la menor distancia, la cantidad de energía recibida será mayor. A primera hora de la mañana y a última hora de la tarde recibiremos la menor cantidad de energía ya que la distancia del sol es la mayor. Estas situaciones se muestran en forma esquemática. La intensidad de la energía que proviene directamente del sol y es recibida perpendicularmente aparece indicada en relación a la altura solar. Estos valores corresponden a un día de verano, despejado, al nivel del mar y de acuerdo con los índices propuestos por Moon.⁹ (Ver apéndice A-3).

SELECCIÓN DE LAS CONDICIONES DE UN DÍA DESPEJADO PARA OBJETIVOS PROYECTUALES. En un día nublado, el nivel de difusión de la radiación directa puede ser 1,00 (100 %), mientras que en uno claro este índice se reduce al 0,15 (15 %). Como consecuencia, el calor total recibido en un día cubierto (radiación difusa principalmente) es muy inferior a la radiación total (directa más difusa) percibida en un día despejado. Observaciones realizadas en Nueva York durante el invierno indican que, por ejemplo, una pared vertical orientada a sur recibe en un día claro el 75 % del calor solar total, mientras que en uno cubierto recibe solamente el 7 % y en días parcialmente nublados el 18 %. Una situación similar podemos notarla en días claros de verano, en los cuales el valor medio de difusión de la radiación total en una superficie orientada a sur

es igual a 0,26 (26 % de radiación difusa).¹⁰ Todo esto sirve para demostrar que la mayor porción de radiación total llega cuando el ratio medio de difusión de la radiación directa es menor, es decir en días despejados. Ya que el interés del arquitecto es primordialmente el diseño, se han calculado y aplicado a todos los temas planteados las condiciones en un día despejado.

Además de los valores propios de un cielo despejado, se requiere conocer la radiación media para resolver problemas relacionados con las aberturas y los cálculos especiales del flujo de calor. Debido a que dicha información no puede obtenerse directamente de las oficinas meteorológicas, es necesario establecer una relación empírica entre los parámetros medidos en las estaciones meteorológicas y la radiación media incidente en diferentes superficies. Se ha llegado a la conclusión de que el porcentaje mensual de días despejados, cubiertos o semicubiertos puede ser utilizado como parámetro de cálculo.¹¹

MÉTODOS PARA DETERMINAR LOS EFECTOS DEL ASOLEO. Para poder calcular los impactos de la radiación es necesario, en primer lugar, conocer la cantidad de energía recibida que incide normalmente en relación a la altitud solar. En segundo lugar, el ángulo de incidencia sobre la superficie específica en cuestión, con objeto de reducir la energía a su función de confort.

Existen datos tabulados para los ingenieros (tales como los publicados en la guía de la Sociedad Americana de Calefacción y Aire Acondicionado)¹² que dan valores tanto para los efectos de la radiación directa como para los de la difusa. No obstante, dichos parámetros, pensados para una utilización práctica, pueden ser aplicados directamente en determinadas orientaciones, horas y latitudes.

Para el análisis de los proyectos son necesarios instrumentos que definan los ángulos de incidencia del sol sobre los edificios en diferentes emplazamientos, estaciones y horas del día. La inutilidad de los modelos radica en la dificultad con que los efectos de sombra o asoleo pueden observarse visualmente. Estos instrumentos

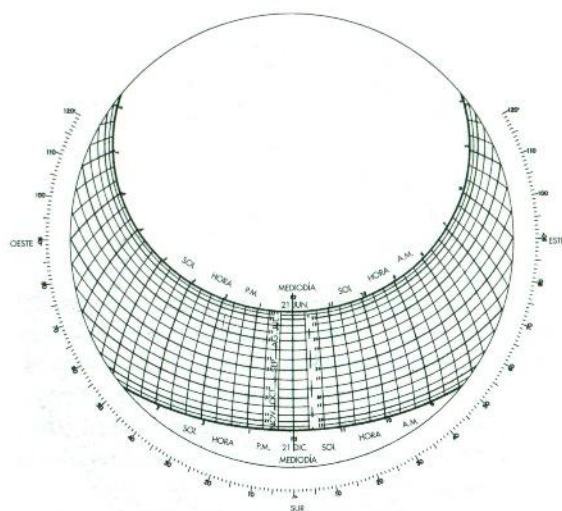
pueden agruparse en dos categorías generales: la máquina solar y la gama de ábacos solares.

El principio en el cual se basan los instrumentos tipo máquina solar consiste en una fuente de luz ajustable (simulando la luz solar) que intenta reproducir las condiciones de asoleo en cualquier situación dada. Con este objetivo se han desarrollado numerosos instrumentos de este tipo, por ejemplo, el Heliodon¹³ del Centro Británico de la Construcción, la Lámpara de potencia dirigida del profesor G.M. Beal, el Solaranger¹⁴ realizado por el Dr. L.W. Neubauer, el Solarscope¹⁵ del Centro Experimental para la construcción de la Commonwealth, el Solarscope¹⁶ de la Compañía cristalera Libbey-Owens-Ford, el Solatron de la Escuela de Arquitectura de Cornell, el Heliodon de la Universidad John Hopkins¹⁷ y muchos otros.

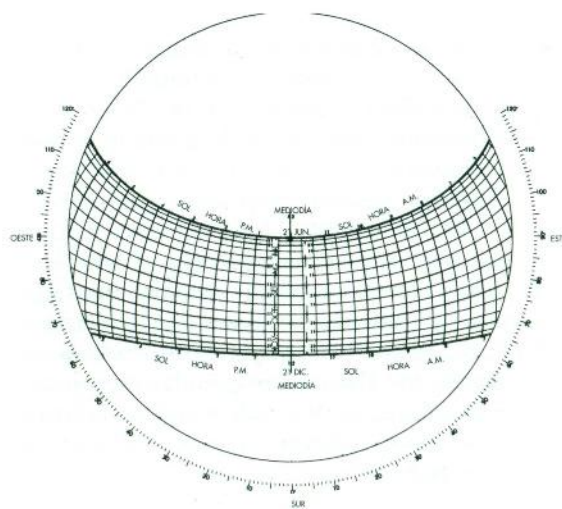
Todas estas máquinas solares, independientemente de la ingeniosidad con la que han sido construidas, presentan una desventaja: la divergencia de los rayos que salen de sus lámparas provoca una cierta distorsión en las medidas, especialmente en el caso de grandes maquetas (tales como las que se hacen para el planeamiento de las ciudades).

Los ábacos solares se basan en las características de los patrones de las sombras. Debido a que la sombra se mueve exactamente de forma opuesta al sol, el ábaco solar puede, en cualquier momento, determinar la posición del sol en relación con su sombra. En el vasto campo de los ábacos solares, merecen especial mención: el Shadowgrams, y los Diagramas Cotangentes, a través de los cuales Kuttner,¹⁸ Grobler¹⁹ y Beckett²⁰ han desarrollado sistemas muy útiles para la práctica arquitectónica. Gunnar Pleijel, construyó su Pequeño ábaco²¹ elevando los lados de los ábacos horizontales mencionados previamente. El Ábaco de sombras desarrollado por Aladar Olgyay²² puede aplicarse en cualquier latitud.

DIAGRAMAS DE RECORRIDO SOLAR. Existen diferentes sistemas para proyectar la bóveda celeste imaginaria a partir del recorrido del sol.



64.



65.

Algunos de ellos lo proyectan sobre la superficie de un cilindro, otras en planos paralelos al horizonte. En principio, pueden existir tantos sistemas como planos de proyección. Sin embargo, las últimas investigaciones se basan en los denominados "diagramas de recorrido solar" ya que éstos ofrecen características más ventajosas que otros sistemas.

Los "diagramas de recorrido solar" muestran la bóveda celeste proyectada sobre un plano paralelo al horizonte. En los diagramas resultantes la línea del horizonte aparece como un círculo y el recorrido solar como una sucesión de curvas, siempre en relación con el método de proyección y la propia latitud.

Los métodos de proyección más recientes son: el ortográfico, el estereográfico y el equidistante. En el método equidistante los ángulos de la altura aparecen en la gráfica separados siempre por la misma distancia entre sí. Esta característica proporciona igual lectura tanto para los ángulos altos como para los bajos y facilita el dibujo. El círculo situado en el punto de observación adoptará, al acercarse al límite, una forma elíptica manteniéndose uno de sus ejes constante y el otro incrementando su tamaño hasta que es $\pi/2$ mayor.

Este método ha sido descrito por Irving F. Hand,²³ y la compañía cristalera Libbey-Owens-Ford ha producido diagramas excelentes basados en esta proyección, denominados Sun Angle Calculator²⁴ (Calculador de los ángulos solares). La disponibilidad y amplia utilización de este instrumento en Estados Unidos es tal, que los diagramas que aparecen en este libro se han realizado utilizando dicho método de proyección equidistante.

En las figuras se muestran diagramas de recorrido solar, extraídos del Sun Angle Calculator, para latitudes de 52° y 24°. Las líneas curvas indicadas como días y meses del año representan el recorrido del sol correspondiente a cada fecha. Las líneas distribuidas radialmente a partir del Polo norte señalan las horas. Entre éstas podemos observar otras líneas más finas que indican intervalos de

20 minutos. Con un cursor pivotando en el punto central del diagrama podemos leer la altitud del sol en cualquier posición. La situación del sol en relación a la línea de horizonte se expresa generalmente en función de la altitud y del acimut. La altitud es la distancia angular por encima del horizonte. Alcanza su valor máximo de 90° en el cenit, es decir en el punto más alto.

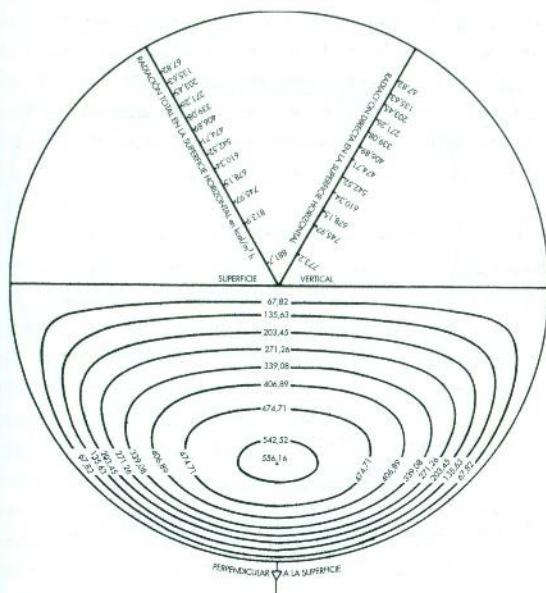
CÓMPUTO DE LA ENERGÍA SOLAR CON UN CALCULADOR DE RADIACIÓN. El cálculo de la radiación utilizando datos tabulados constituye una tarea laboriosa y lenta. Algunos sistemas gráficos presentan más ventajas que los estadísticos. Con el método que mostramos aquí, y que ha sido desarrollado por el autor, es posible determinar, en una sola lectura y para cualquier orientación, los efectos de una radiación total, directa o difusa en superficies opacas o acristaladas.

Las gráficas del calculador de radiación están basadas en el supuesto de que la magnitud de la radiación directa o difusa se encuentra en función de la altitud solar y de su ángulo de incidencia. En una esfera, variaciones iguales de altitud respecto a un punto central se expresarán como círculos paralelos; las variaciones iguales de ángulos de incidencia aparecerán en formas cónicas concéntricas. De aquí se desprende que a cualquier situación con altitud e incidencia dadas le corresponderán dos puntos, sobre la superficie en cuestión, situados simétricamente respecto al plano vertical. Por lo tanto, todos los efectos posibles de radiación sobre una superficie dada pueden grafarse según una proyección esférica.

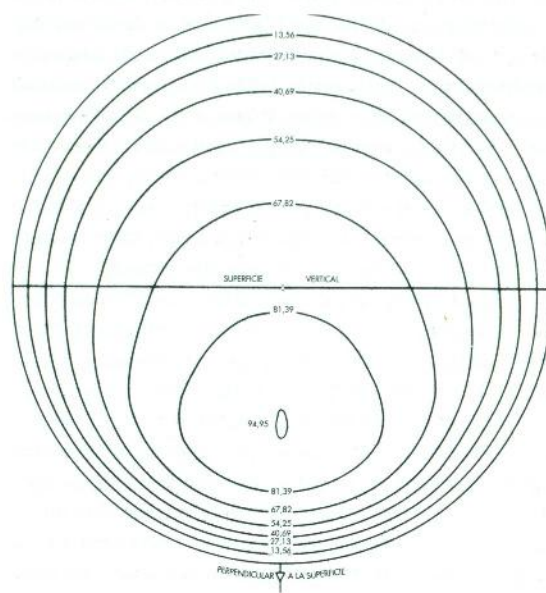
Los diagramas de dicho calculador están proyectados horizontalmente siguiendo el método equidistante. Los valores energéticos tabulados representan las condiciones de un día despejado. Los datos de radiación directa corresponden a los del estándar de Moon,²⁵ los valores de la difusa a los recomendados por la ASHVE.²⁶

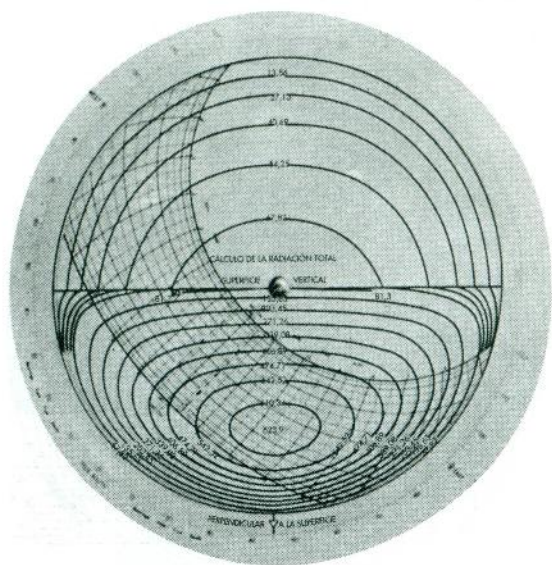
Debido a que en determinados problemas arquitectónicos la irradiación en las superficies verticales y horizontales es de interés primordial, los gráficos se han desarrollado para este tipo de exposiciones; no obstante, este método

GRÁFICAS DE CÁLCULO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA SUPERFICIES OPACAS

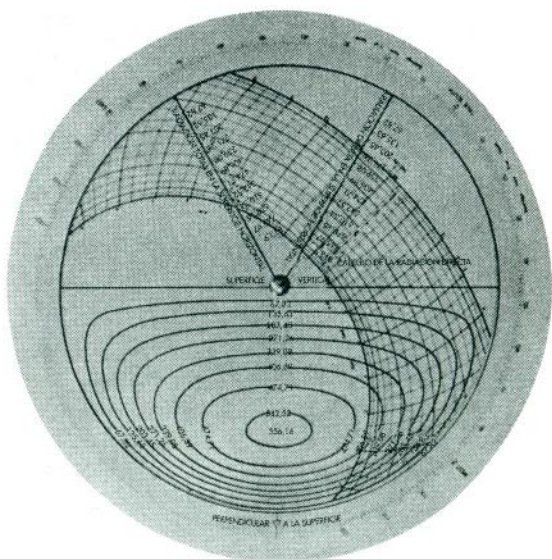


66. Gráfica de cálculo de la radiación directa.





72. Cálculo de los efectos de la radiación en una superficie vertical.



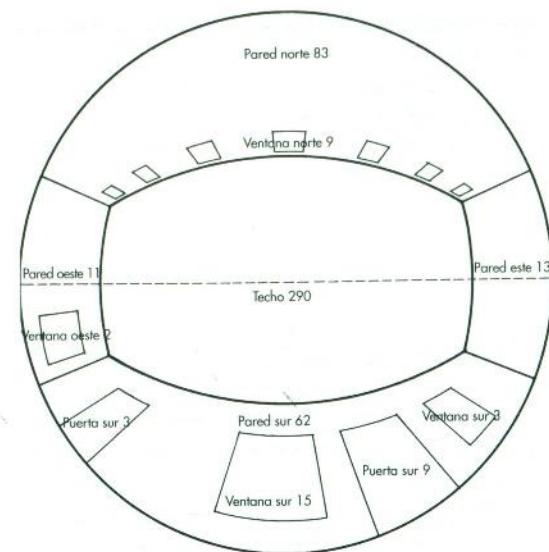
73. Cálculo de los efectos de la radiación en una superficie horizontal.

puede utilizarse para cualquier plano oblicuo, así como también para otras condiciones, tales como el caso de cielos nublados o semi-nublados. Los diagramas del calculador de radiación pueden ser utilizados para cualquier latitud (con objetivos de carácter general), y para todas las orientaciones. La flexibilidad y la rapidez que proporciona este método en la lectura directa de la radiación total incidente sobre una superficie a cualquier hora del año representa una ventaja obvia en la proyectación arquitectónica.

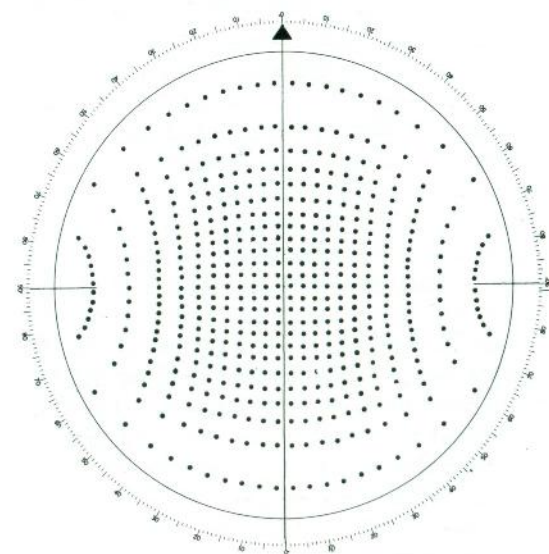
Las cantidades de radiación directa que inciden sobre un plano vertical se muestran en la mitad inferior del círculo; en el lado opuesto se indica la energía solar sobre las superficies horizontales. Las líneas de radiación equivalentes se indican a intervalos de aproximadamente $68 \text{ kcal/m}^2\text{h}$. La cantidad de energía difusa incidente sobre una superficie vertical se grafica en intervalos de $13,6 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ (aprox.). Nótese que las superficies verticales reciben radiación celeste incluso cuando el ángulo de incidencia es mayor de 90° . En la gráfica se muestran las cantidades totales de radiación recibidas en una superficie vertical, con datos de energía añadida por radiación directa o difusa. Los diagramas de cálculo muestran la energía transmitida por la radiación total, directa y difusa a través de superficies acristaladas. Con este material, el vidrio, y con una incidencia perpendicular se han utilizado los siguientes coeficientes de transmisión: para la radiación directa un 0,91 y para la difusa un 0,82.

Para la aplicación práctica, los diagramas de intensidades se han graficado en hojas transparentes. Dichas hojas pueden superponerse a los diagramas del recorrido solar y leer así, directamente la cantidad de energía recibida.

He aquí dos ejemplos que muestran la aplicación de este método. El primer diagrama ilustra la posición del calculador en 40° de latitud norte, para leer los efectos de la radiación sobre una superficie vertical orientada en dirección sureste. El segundo ejemplo muestra el calculador situado en posición apta para la lectura de la radiación total que incide en una superficie horizontal a las 9:20 de la mañana del 21 de junio.



74. Proyección hemisférica de una habitación.



75. Nomograma de la radiación hemisférica dividido en 500 unidades iguales.

TEMPERATURA RADIANTE MEDIA. Una vez descontadas la radiación solar y los efectos de evaporación, la sensación de calor en un espacio cerrado depende no sólo de la temperatura ambiente del aire, sino también del impacto calorífico procedente de las superficies colindantes. El efecto total de este tipo de radiación se expresa como impacto de temperatura radiante media (TRM). Este flujo de calor será positivo cuando la temperatura de los elementos circundantes sea superior a la de la superficie del cuerpo; y será negativa (pérdida de calor del cuerpo) si la temperatura de radiación es menor que la media de la superficie corporal. La temperatura ambiente del aire y la temperatura media de radiación son interdependientes aunque, en general, no equivalentes. La relación existente entre temperatura y radiación ha sido analizada por diversos investigadores, quienes coinciden generalmente en que 1,4 °C de incremento en la temperatura de una habitación compensará el descenso de 1 °C de la temperatura de radiación media (TRM).²⁷

En una habitación compuesta por muros exteriores e interiores y ventanas las temperaturas superficiales pueden variar considerablemente de un punto a otro. De acuerdo con esto, la temperatura de radiación media resultante y la sensación de calor diferirán según nuestra posición en dicha habitación. Los cálculos matemáticos para determinar este efecto son bastante largos, por eso, aquí desarrollamos un método gráfico que puede ayudarnos en el enfoque de dicho problema.

Para cualquier punto de observación dado, los efectos de la radiación son proporcionales a la distancia que lo separa del panel radiante. Si proyectamos los elementos radiantes en una esfera teórica cuyo centro es el punto de observación, podremos dibujar en una gráfica la magnitud relativa de los impactos producidos sobre la superficie. Se ha demostrado que la utilización con este objetivo del método de proyección equidistante resulta muy práctico. El tamaño de las superficies proyectadas puede calcularse con el nomograma de superficie semiesférica. Aquí,

el hemisferio se ha dividido en 500 cuadrados iguales. Los puntos que aparecen en este nomograma designan los centros de dichos cuadrados. Superponiendo una superficie proyectada al nomograma y contando los puntos enmarcados dentro de ella podemos encontrar la magnitud relativa del impacto de radiación. A continuación se muestra un ejemplo de aplicación de estos cálculos en el cual los números de las áreas proyectadas están referidos a fracciones unitarias de milésimas de la superficie esférica total.

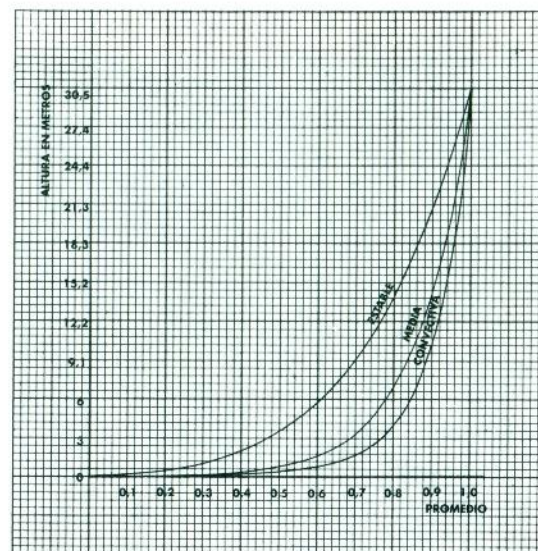
Así el cálculo del efecto del calor sensible en un punto dado será:

$T_s = T_a$ (temperatura ambiente del aire) $\pm$ TRM
diferencia de temperatura por 1,272 (o 1,25).

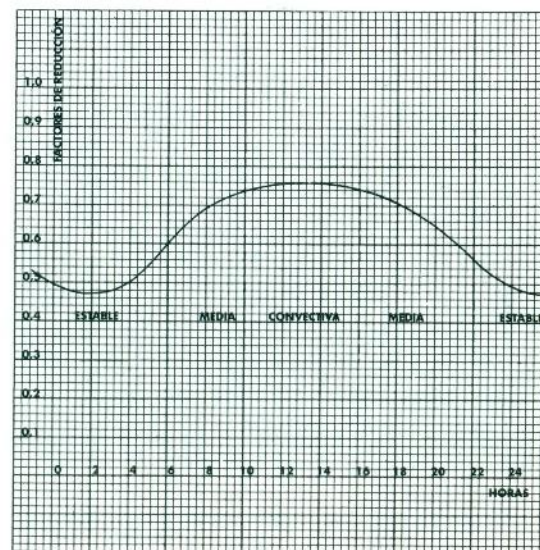
VIENTO. Para los cálculos del viento deben tomarse en consideración diversos factores: la disminución de la velocidad del viento en niveles cercanos al suelo; la modificación de los flujos de viento operativos debido a la topografía local y al entorno inmediato; y la evaluación del confort –brisas agradables contra vientos indeseados–.

Los efectos del viento de la atmósfera libre se modifican y reducen a baja altura, a nivel del suelo el aire se encuentra prácticamente en reposo. Geiger ha desarrollado una ecuación para expresar la variación de la velocidad del viento en función de la altura.²⁸ El método aplicado aquí es el realizado por el Cuerpo Quartermaster de Estados Unidos.²⁹ Este método desarrolla una suave curva diurna que proporciona factores de reducción que pueden aplicarse sin problemas a todos los días del año.

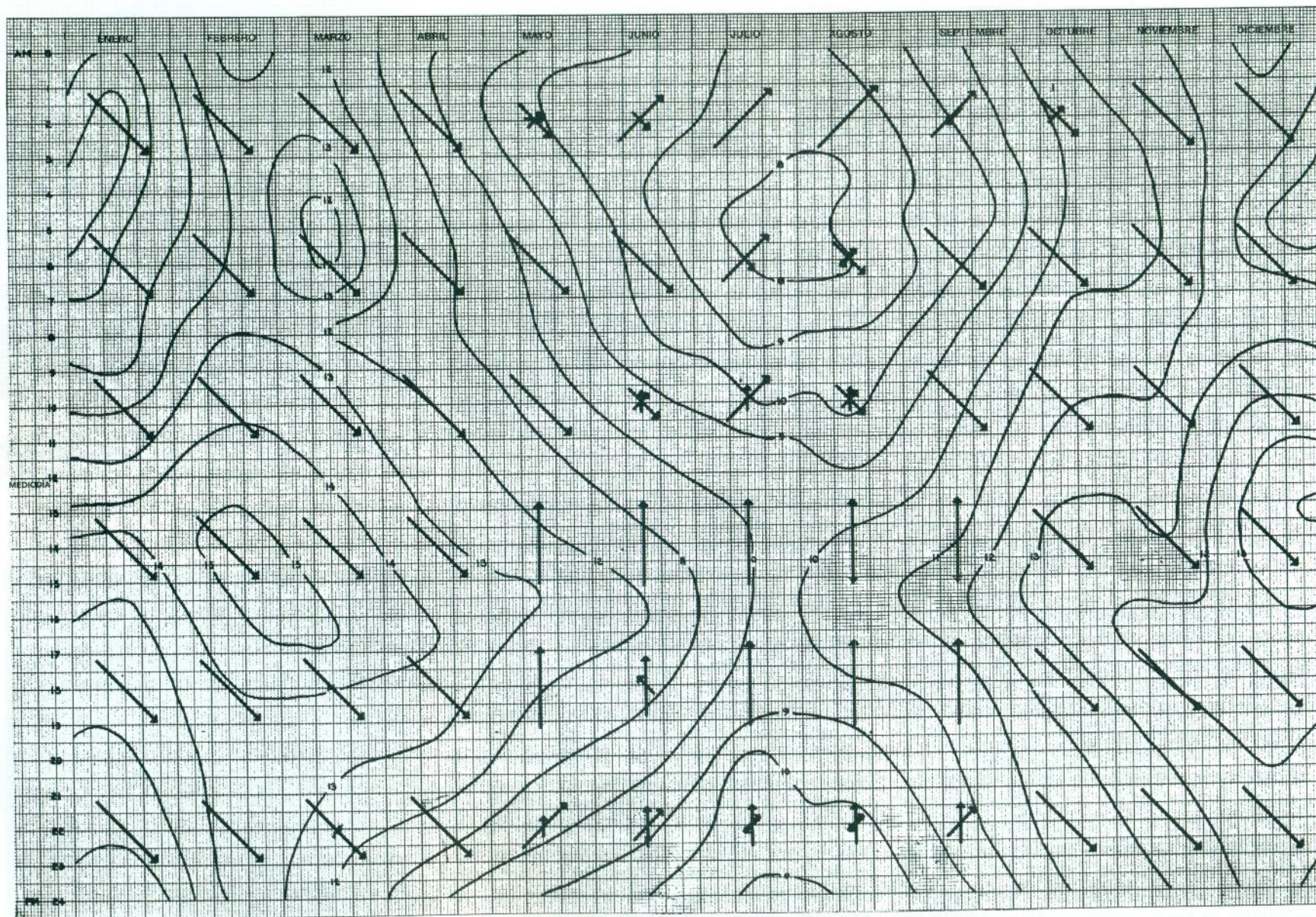
Aquí se ilustra, como ejemplo, la evaluación del viento de la zona de Nueva York-Nueva Jersey. Los datos meteorológicos fueron recogidos a 14,3 m de altura; las velocidades pueden reducirse sustancialmente a los 1,82 m de altura o “nivel de vida”. En las siguientes páginas se muestran las curvas necesarias para calcular el proceso de reducción, las velocidades medias y la dirección de los vientos a una altura específica, y el efecto de reducción de la velocidad del viento hasta alcanzar los 1,82 m.



76. Promedio de velocidades medias del viento en alturas inferiores a los 30,5 metros para condiciones medias, estables y convectivas.

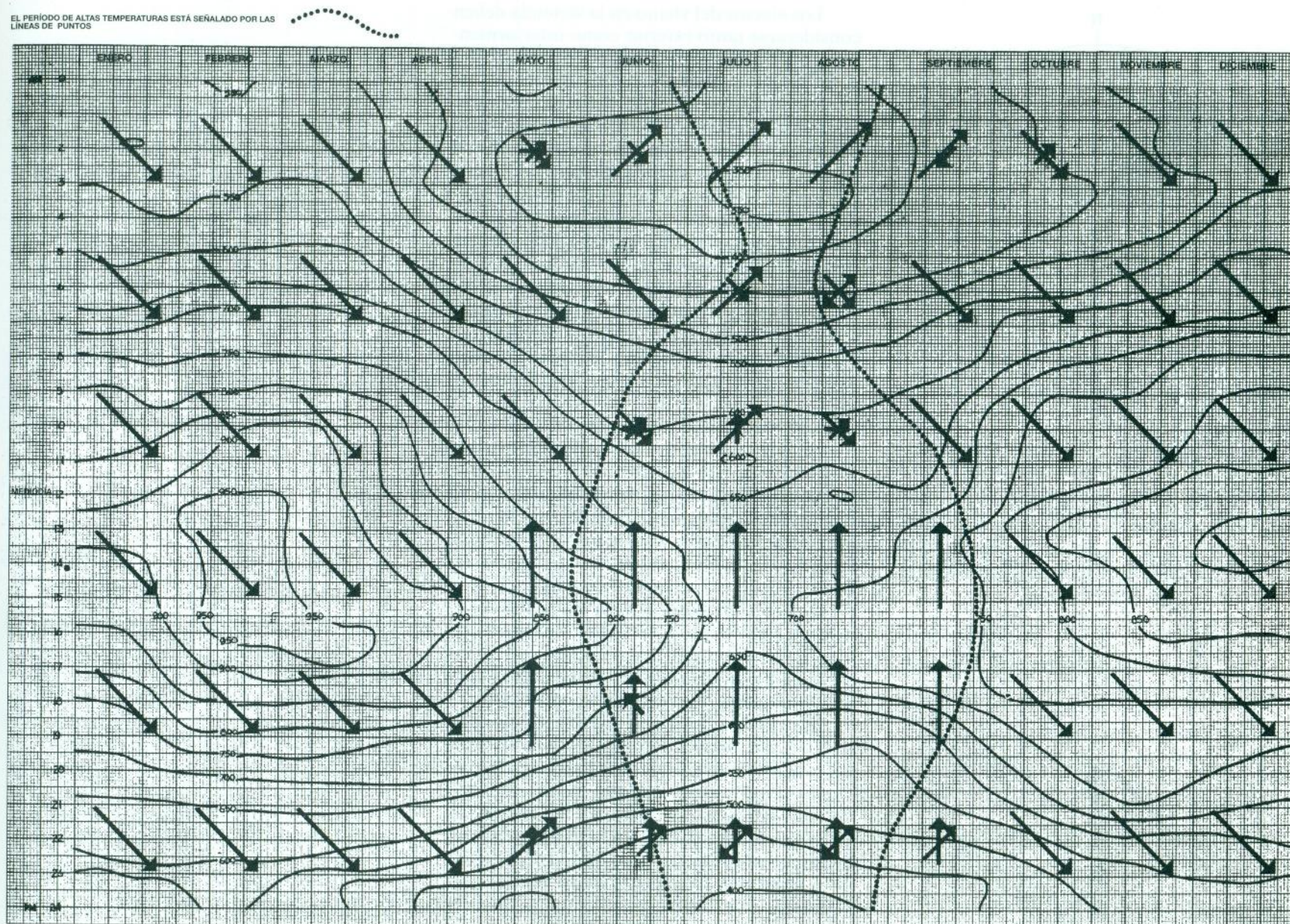


77. Reducción horaria de la velocidad del viento entre 14,3 y 1,8 metros de altura.

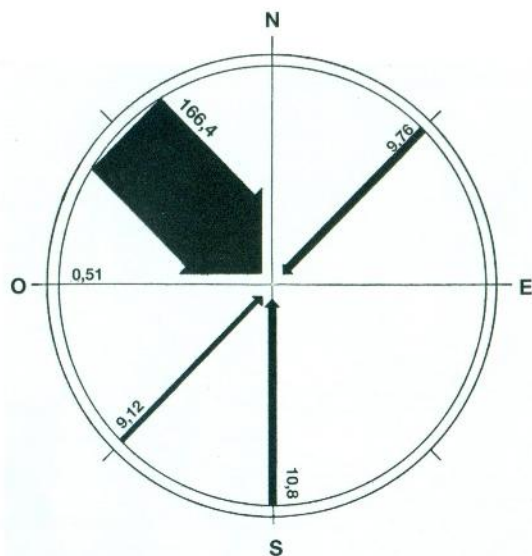


78. Velocidad y dirección del viento a una altura aproximada de 15,2 metros, en la zona de Nueva York-Nueva Jersey.

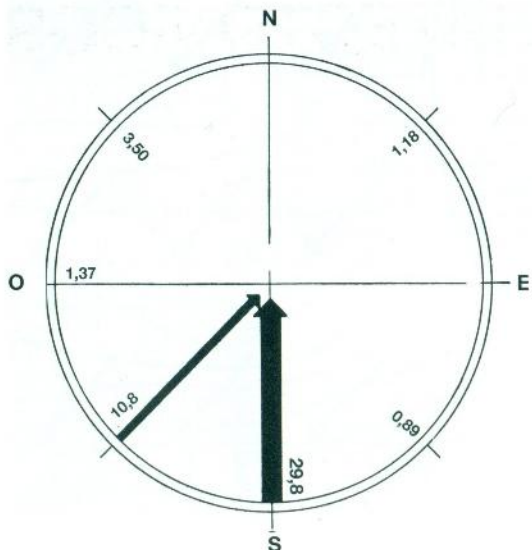
EL PERÍODO DE ALTAS TEMPERATURAS ESTÁ SEÑALADO POR LAS
LÍNEAS DE PUNTOS



79. Velocidad y dirección del viento a una altura aproximada de 1,8 metros, en la zona de Nueva York-Nueva Jersey.



80. Análisis del viento en la zona de Nueva York-Nueva Jersey. Vientos correspondientes al período de bajas temperaturas (en m/s).



81. Brisas predominantes durante el período de altas temperaturas. Los números representan la velocidad del aire (en m/s), en intervalos de 4 horas, a lo largo del año y en condiciones medias.

Los efectos del viento en la vivienda deben considerarse tanto exterior como interiormente (debido a la transmisión por convección y a la infiltración). Para el equilibrio del confort, los movimientos del aire deberán evaluarse tanto positiva como negativamente. En períodos fríos deberán bloquearse para impedir su penetración en los habitáculos pero, al mismo tiempo, en épocas calurosas deben ser admitidos y utilizados para mejorar las condiciones de confort de la vivienda. Si el diagrama del período cálido se superpone al diagrama de vientos podremos distinguir las brisas agradables de los vientos indeseados, así como también un resumen de sus direcciones y velocidades. Dependiendo de su duración y velocidad pueden expresarse también como vectores de orientación.

Los datos de la gráfica de los vientos corresponden a condiciones normales. No obstante, la necesidad de frescor y alivio de la presión del vapor en períodos de valores altos de humedad absoluta deben tomarse en cuenta durante el proceso de diseño. Para definir un máximo, lo habitual es utilizar datos de temperatura exterior de un cierto número de años que sean similares o cuya diferencia en los meses de verano no supere el 5 %. ³⁰ Dichas condiciones extremas constituirán el criterio para definir los tamaños de las aberturas adecuados para contrarrestar situaciones climáticas adversas.

En cambio, los flujos máximos de velocidad del aire serían demasiado elevados para un confort adecuado; de esta forma, estableceremos como niveles óptimos de movimiento del aire en espacios interiores los límites de 1,52 m/s durante el día y 1,02 m/s por la noche. Si esto no es suficiente para contrarrestar el calor o la presión de vapor, será necesario complementar con acondicionamiento mecánico.

Parte 2

INTERPRETACIÓN SEGÚN PRINCIPIOS ARQUITECTÓNICOS

V. ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

EFFECTOS MICROCLIMÁTICOS

En general, concebimos el clima como una condición uniforme distribuida sobre una gran área. Esta concepción se basa, en parte, en que los datos se recogen en aquellos lugares donde prevalecen condiciones climatológicas estables y, en parte también, en que los planos meteorológicos a gran escala indican las temperaturas medias con muy pocas líneas. Sin embargo, a nivel del suelo existen, uno junto a otro, numerosos microclimas que varían sustancialmente al elevarse unos cuantos metros y distanciarse unos pocos kilómetros (por ejemplo, 1,6 km). Podemos observar esto último en la naturaleza cuando a finales de invierno se producen los diferentes procesos de deshielo, o cuantos a principios de la primavera las laderas norte de las montañas permanecen heladas mientras que las orientadas a sur tienen ya el color verde de una vegetación incipiente. Las plantas son indicadores sensibles de circunstancias favorables. Este efecto es muy conocido por los agricultores que prefieren las laderas sur para para cultivar sus huertos o plantar sus viñedos. Si se pudiera elegir qué tipo de plantas se deberían cultivar a un lado u otro de la montaña, la diferencia sería tan grande como si estuviéramos hablando de lugares situados al norte y al sur del país, separados por cientos de kilómetros de distancia.¹ Además, cualquier diferencia de altitud, características del subsuelo, cauces de agua, etc. produce a variaciones del clima local.

Estos efectos, comprendidos dentro de la gran escala "macroclimática" forman un modelo de pequeña escala o "microclima". Las variaciones del clima juegan un papel muy importante en la implantación arquitectónica. En primer lugar, para la elección del emplazamiento deberán considerarse, prioritariamente, los favora-

bles. En segundo lugar, un emplazamiento menos adecuado puede mejorarse con elementos protectores del viento y con superficies contiguas que produzcan reacciones favorables a los impactos de la temperatura y la radiación.

Geiger² y Landsberg³ realizaron extensos estudios microclimáticos, proporcionando información detallada al respecto. El objetivo de este capítulo consiste en discutir algunos de los efectos más importantes que se producen en los emplazamientos desde el punto de vista arquitectónico.

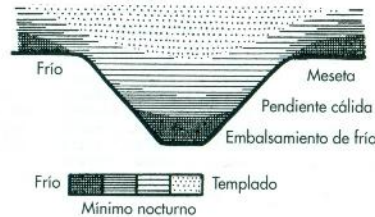
EFFECTOS TOPOGRÁFICOS

En la atmósfera, la temperatura disminuye con la altura. La temperatura en las montañas disminuye 0,56 °C al ascender 100,6 metros en verano y 122 metros en invierno. Este efecto es especialmente importante en zonas tropicales donde las temperaturas se vuelven más benévolas a medida que aumenta la altitud. El emplazamiento de algunas capitales de Latinoamérica reflejan este hecho. Ciudad de México se asienta a 2.134 metros por encima del nivel del mar, y la nueva capital de Brasil se construyó a una altura de 1.067 metros.

De la misma forma que las montañas afectan el macroclima, pequeñas diferencias en el terreno pueden crear marcadas modificaciones en el microclima. El aire frío es más pesado que el caliente, así, por la noche la disminución de la radiación ocasiona que se produzca una capa de aire frío cerca de la superficie del suelo. El aire frío se comporta, en cierta forma, como el agua, circulando hacia los puntos más bajos. Este "flujo de aire frío" produce "islas frías", o "burbujas de aire frío". Por eso, la existencia de elevaciones que impiden el flujo del aire afectan a la dis-



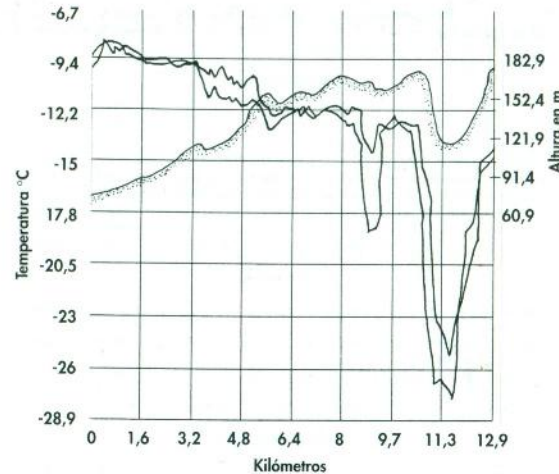
82-83. Embalsamiento de aire frío.



84. Zona de pendientes templadas.

tribución de las temperaturas nocturnas haciendo el efecto de dique; asimismo, las formaciones cóncavas de terreno se convierten durante la noche en lagunas de aire frío. Este mismo fenómeno sucede a gran escala cuando interviene un gran volumen de aire frío, por ejemplo en algunos valles. Geiger describe e ilustra esto con un diagrama de secciones.⁴ Las planicies, las laderas de los valles y la superficie del suelo del fondo del valle se enfrían durante la noche. El flujo del aire se produce cerca del nivel del suelo.

En las laderas de los valles se originan pequeñas circulaciones de aire frío que se mezclan con el aire cálido procedente de las zonas habitadas proporcionando unas condiciones de



85. Efecto de la topografía en la distribución de la temperatura.

temperatura intermedias. De acuerdo con esto, las temperaturas en las planicies serán frías a nivel del suelo, muy frías en el fondo del valle y, en cambio, se mantendrán templadas en las laderas. Esta zona, que generalmente destaca por su vegetación, se conoce como ladera cálida (cinturón termal). En la zona templada dicho cinturón térmico es el área más adecuada para emplazar una vivienda. No obstante, si este emplazamiento está expuesto a fuertes vientos que pueden afectar las temperaturas es preferible escoger un lugar a media ladera.

Middleton y Millar en Toronto, Canadá⁵, analizaron un ejemplo característico del efecto de la topografía en la temperatura. Este equipo de investigadores midieron las temperaturas en todo el perfil de la sección del lago Ontario durante una despejada noche de invierno. Cerca del lago se registraron las temperaturas más altas, decreciendo gradualmente a medida que se distanciaban de este punto. El gráfico indica las diferencias de temperatura entre el fondo del valle y sus crestas. A tan solo 11,3 kiló-

metros del lago se registró una caída de temperatura de 17,7 °C. Estas diferencias no pueden obviarse en la selección del emplazamiento.

EFFECTOS DE LA RADIACIÓN. La cantidad de radiación solar tiene también un efecto dominante en el clima. Los antiguos griegos asociaron intensamente asoleo y clima. La falda de una montaña recibe el impacto de la radiación en función de la inclinación y la dirección de sus laderas. Dicha radiación varía, por supuesto, dependiendo de la estación del año y del nivel de nubosidad.

Debido a su importancia, en este trabajo estudiaremos detalladamente el impacto de la radiación sobre diversas pendientes. Los datos tabulados fueron desarrollados para las condiciones específicas de la región de Nueva York-Nueva Jersey. Para el cálculo, se adoptó un método en el cual los factores porcentuales de corrección utilizados, para días despejados y condiciones normales (típicas del mes), procedían de los datos del observatorio de Blue Hill.⁶ Las siguientes afirmaciones se encuentran implícitas en estos cálculos: no existe asimetría en la curva de intensidad diaria de radiación solar; las diferencias en la intensidad de radiación, resultantes de la órbita elíptica de la tierra, deben despreciarse; las regiones en las que se aplican estos cálculos se encuentran al nivel del mar.

Las tablas A a F de las páginas siguientes contienen los resultados de los cálculos de radiación para un día despejado: la radiación directa, la radiación difusa y la radiación total para su utilización en el diseño; así como la radiación directa media y la radiación calorífica total media en condiciones normales. Los resúmenes muestran las cantidades diarias de radiación en kcal/m². Los valores dados corresponden a los días 21 de cada mes y para ocho orientaciones. Para la selección del emplazamiento son importantes solamente los de poca inclinación. No obstante, para una mayor seguridad, se han registrado los datos horizontales y verticales en ocho ángulos de inclinación.

40° Latitud norte
 (Área de Nueva York-Nueva Jersey)
 Total diario en kcal/m²

0° Inclinación					
Meses	S	SE SO	E O	NE NO	N
21 de diciembre	1443,10	1443,10	1443,10	1443,10	1443,10
21 de enero o 21 de nov.	1595	1595	1595	1595	1595
21 de feb. o 21 de oct.	2585,10	2585,10	2585,10	2585,10	2585,10
21 de marzo o 21 de sep.	3775,90	3775,90	3775,90	3775,90	3775,90
21 de abril o 21 de agosto	5124,10	5124,10	5124,10	5124,10	5124,10
21 de mayo o 21 de julio	5927	5927	5927	5927	5927
21 de junio	6238,90	6238,90	6238,90	6238,90	6238,90

10° Inclinación					
21 de diciembre	2010	1860,80	1424,10	1044,30	838,2
21 de enero o 21 de nov.	2170	1999,10	1557	1223,4	984,6
21 de feb. o 21 de oct.	3192,70	3000,10	2555,2	2118,5	1909,6
21 de marzo o 21 de sep.	4266,90	4163,80	3748,8	3350	3181,8
21 de abril o 21 de agosto	5422,50	5208,20	5072,5	4820,3	4662,9
21 de mayo o 21 de julio	5840,20	6021,90	5872,7	5772,4	5685,6
21 de junio	6152,20	6255,20	6182	6135,9	6070,8

20° Inclinación					
21 de diciembre	2524,4	2061,6	1407,8	653,7	260,4
21 de enero o 21 de nov.	2661	2340,9	1557	811,1	385,2
21 de feb. o 21 de oct.	3667,4	3341,9	2441,3	1670,9	1239,6
21 de marzo o 21 de sep.	4633,1	4359,1	3634,9	2831,9	2438,6
21 de abril o 21 de agosto	5571,7	5403,5	4898,9	4372,7	4074,3
21 de mayo o 21 de julio	5916,2	5913,4	5650,3	5381,8	5257
21 de junio	6078,9	6100,6	5935,2	5802,2	5715,4

30° Inclinación					
21 de diciembre	2943,2	2468,4	1329,2	268,5	-
21 de enero o 21 de nov.	3057,1	2604,1	1521,7	520,8	-
21 de feb. o 21 de oct.	4052,6	3561,6	2406	1220,6	526,2
21 de marzo o 21 de sep.	4825,7	4475,8	3466,7	2289,4	1717,1
21 de abril o 21 de agosto	5501,1	5368,2	4673,8	3751,5	3341,9
21 de mayo o 21 de julio	5672	5682,9	5384,5	4847,4	4649,4
21 de junio	5696,4	5745,3	5639,5	5286,8	5124,1

45° Inclinación					
21 de diciembre	3412,5	2720,7	1318,3	105,8	-
21 de enero o 21 de nov.	3523,6	2856,4	1440,4	355,4	-
21 de feb. o 21 de oct.	4136,7	3664,7	2265	889,7	-
21 de marzo o 21 de sep.	4866,4	4386,3	3192,7	1703,5	518,1
21 de abril o 21 de agosto	5400,8	5007,4	4231,6	2883,5	2205,3
21 de mayo o 21 de julio	4931,5	5056,3	4755,2	3643	3618,6
21 de junio	4904,4	5110,5	4993,9	4318,4	4188,2

60° Inclinación					
21 de diciembre	3645,7	2764,1	1087,7	70,5	-
21 de enero o 21 de nov.	3710,8	2929,6	1193,5	141	-
21 de feb. o 21 de oct.	4345,6	3615,9	1898,8	556,1	-
21 de marzo o 21 de sep.	4627,7	4120,4	2810,3	1293,9	5,4
21 de abril o 21 de agosto	4467,6	4242,4	3651,2	2153,8	737,8
21 de mayo o 21 de julio	3952,2	4299,5	4109,6	2962,2	2284
21 de junio	3816,6	4283,2	4313	3317,5	2747,9

75° Inclinación					
21 de diciembre	3618,6	2704,5	832,2	35,3	-
21 de enero o 21 de nov.	3645,7	2812,9	979,2	105,8	-
21 de feb. o 21 de oct.	4060,7	3274,1	1703,5	352,6	-
21 de marzo o 21 de sep.	3984,8	3515,5	2536,3	881,6	-
21 de abril o 21 de agosto	3450,4	3586	3008,3	1603,1	235,9
21 de mayo o 21 de julio	2671,9	3303,9	3390,7	2281,3	808,4
21 de junio	2454,9	3206,3	3474,8	2454,9	1315,6

90° Inclinación					
21 de diciembre	3390,7	2487,4	637,5	27,1	-
21 de enero o 21 de nov.	3350,1	2471,2	637,5	65,1	-
21 de feb. o 21 de oct.	3564,3	2747,9	1245	257,7	-
21 de marzo o 21 de sep.	3086,9	2894,3	2137,5	615,7	-
21 de abril o 21 de agosto	2251,4	2696,3	2365,3	1104	111,2
21 de mayo o 21 de julio	1272,2	2289,4	2707,2	1595	436,7
21 de junio	1104	2189	2652,9	1825,6	642,9

40° Latitud norte
 (Área de Nueva York-Nueva Jersey)
 Total diario en kcal/m²

0° Inclinación					
Meses	S	SE SO	E O	NE NO	N
21 de diciembre	387,9	387,9	387,9	387,9	387,9
21 de enero o 21 de nov.	431,3	431,3	431,3	431,3	431,3
21 de feb. o 21 de oct.	585,9	585,9	585,9	585,9	585,9
21 de marzo o 21 de sep.	789,4	789,4	789,4	789,4	789,4
21 de abril o 21 de agosto	1017,2	1017,2	1017,2	1017,2	1017,2
21 de mayo o 21 de julio	1158,3	1158,3	1158,3	1158,3	1158,3
21 de junio	1223,4	1223,4	1223,4	1223,4	1223,4

10° Inclinación					
21 de diciembre	423,2	401,5	382,5	366,2	368,9
21 de enero o 21 de nov.	466,6	461,1	436,7	423,2	415
21 de feb. o 21 de oct.	632	621,2	599,5	566,9	553,4
21 de marzo o 21 de sep.	838,2	821,9	781,2	754,1	740,5
21 de abril o 21 de agosto	1033,5	1025,4	1011,8	990	949,4
21 de mayo o 21 de julio	1228,9	1180	1158,3	1128,4	1090,5
21 de junio	1239,6	1242,4	1228,8	1215,2	1147,4

20° Inclinación					
21 de diciembre	461,1	428,6	320	352,6	347,2
21 de enero o 21 de nov.	501,8	482,8	368,9	406,9	390,6
21 de feb. o 21 de oct.	670	661,9	547,9	539,8	523,5
21 de marzo o 21 de sep.	868	851,8	735,1	727	697,1
21 de abril o 21 de agosto	1087,7	1068,8	968,4	927,7	916,8
21 de mayo o 21 de julio	1196,3	1193,5	1117,6	1104	1079,6
21 de junio	1239,6	1239,6	1158,3	1150,1	1147,4

30° Inclinación					
21 de diciembre	496,4	450,3	320,1	347,2	331
21 de enero o 21 de nov.	537,1	510	377,1	388	371,6
21 de feb. o 21 de oct.	716,1	683,6	542,5	523,5	501,8
21 de marzo o 21 de sep.	892,4	868	740,5	689	653,7
21 de abril o 21 de agosto	1090,5	1071,5	949,4	922,3	885,3
21 de mayo o 21 de julio	1161	1185,4	1098,6	1071,5	1020
21 de junio	1196,3	1218	1147,4	1125,8	1090,5

45° Inclinación					
21 de diciembre	550,6	488,3	320,1	330,9	314,6
21 de enero o 21 de nov.	569,6	539,8	374,3	371,6	366,2
21 de feb. o 21 de oct.	737,8	708	542,5	499,1	485,5
21 de marzo o 21 de sep.	903,3	865,3	727	664,6	621,2
21 de abril o 21 de agosto	1060,6	1052,5	933,1	857,2	797,5
21 de mayo o 21 de julio	1098,6	1120,3	1060,6	1003,7	946,7
21 de junio	1104,1	1136,6	1101,3	1028,1	1006,4

60° Inclinación					
21 de diciembre	602,2	493,7	379,8	322,8	306,5
21 de enero o 21 de nov.	591,3	558,8	434	358,1	347,2
21 de feb. o 21 de oct.	746	718,8	542,5	472	466,6
21 de marzo o 21 de sep.	868	854,5	762,2	632	594,1
21 de abril o 21 de agosto	960,3	984,7	941,3	805,6	743,3
21 de mayo o 21 de julio	1003,6	1052,5	1052,5	957,5	873,5
21 de junio	1014,5	1052,2	1093,2	1001	925

75° Inclinación					
21 de diciembre	580,5	485,5	369	314,7	290,2
21 de enero o 21 de nov.	580,5	550,6	417,7	350	336,4
21 de feb. o 21 de oct.	713,4	683,6	499,1	461,1	436,7
21 de marzo o 21 de sep.	803	816,5	727	596,8	553,4
21 de abril o 21 de agosto	878,9	908,7	887	765	699,8
21 de mayo o 21 de julio	892,4	957,5	982	887	805,6
21 de junio	914,1	968,4	1009,1	933,1	849

90° Inclinación					
21 de diciembre	539,8	469,3	360,8	303,8	284,8
21 de enero o 21 de nov.	556,1	515,4	409,6	339,1	330,9
21 de feb. o 21 de oct.	656,4	640,2	542,2	447,6	428,6
21 de marzo o 21 de sep.	737,8	726,9	612,7	577,8	553,4
21 de abril o 21 de agosto	802,9	838,2	819,2	721,5	683,6
21 de mayo o 21 de julio	835,5	876,2	900,6	854,5	783,9
21 de junio	851,7	881,6	933,1	881,6	832,8

40° Latitud norte
 (Área de Nueva York-Nueva Jersey)
 Total diario en kcal/m²

0° Inclinación					
Meses	S	SE SO	E O	NE NO	N
21 de diciembre	1831	1831	1831	1831	1831
21 de enero o 21 de nov.	2026,3	2026,3	2026,3	2026,3	2026,3
21 de feb. o 21 de oct.	3171,1	3171,1	3171,1	3171,1	3171,1
21 de marzo o 21 de sep.	4565,3	4565,3	4565,3	4565,3	4565,3
21 de abril o 21 de agosto	6141,3	6141,3	6141,3	6141,3	6141,3
21 de mayo o 21 de julio	7085,3	7085,3	7085,3	7085,3	7085,3
21 de junio	7462,4	7462,4	7462,4	7462,4	7462,4

10° Inclinación					
21 de diciembre	2433,2	2262,3	1806,6	1410,5	1207,1
21 de enero o 21 de nov.	2636,6	2460,3	1993,7	1646,5	1399,7
21 de feb. o 21 de oct.	3824,7	3621,3	3154,7	2685,5	2463
21 de marzo o 21 de sep.	5105,1	4985,7	4530	4104,2	3922,4
21 de abril o 21 de agosto	6456	6233,5	6084,4	5810,4	5612,4
21 de mayo o 21 de julio	7069	7202	7031,1	6900,9	6776,1
21 de junio	7391,9	7497,6	7410,8	7351,1	7218,2

20° Inclinación					
21 de diciembre	2986,6	2490,2	1728	1006,4	607,6
21 de enero o 21 de nov.	3162,9	2823,8	1925,9	1217,9	775,8
21 de feb. o 21 de oct.	4337,4	4003,8	2989,3	2210,8	1763,2
21 de marzo o 21 de sep.	5501,1	5210,9	4370	3559	3135,8
21 de abril o 21 de agosto	6659,4	6472,3	5867,3	5300,4	4991,2
21 de mayo o 21 de julio	7112,4	7107	6768	6485,8	6336,6
21 de junio	7318,6	7340,3	7093,4	6952,4	6862,9

30° Inclinación					
21 de diciembre	3439,6	2918,7	1649,3	615,8	330,9
21 de enero o 21 de nov.	3594,2	3114	1898,8	908,7	371,6
21 de feb. o 21 de oct.	4768,7	4245,2	2948,6	1744,2	1028
21 de marzo o 21 de sep.	5718,2	5343,8	4207,2	2978,4	2370,8
21 de abril o 21 de agosto	6591,6	6439,7	5623,2	4673,8	4207,2
21 de mayo o 21 de julio	6833	6868,3	6483,1	5921,6	5669,3
21 de junio	6892,7	6963,2	6786,9	6412,6	6214,6

||
||
||

TABLA D. Radiación directa en condiciones medias
 40° Latitud norte
 (Área de Nueva York-Nueva Jersey)
 Radiación: Directa media
 Total diario en kcal/m²

0° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	708	708	708	708	708
21 de en. o 21 de nov.	781,3-846,3	781,3-846,3	781,3-846,3	781,3-846,3	781,3-846,3
21 de feb. o 21 de oct.	1370-1524,5	1370-1524,5	1370-1524,5	1370-1524,5	1370-1524,5
21 de mar. o 21 de sep.	1850-2265,1	1850-2265,1	1850-2265,1	1850-2265,1	1850-2265,1
21 de abril o 21 de ag.	2612,2-2818,4	2612,2-2818,4	2612,2-2818,4	2612,2-2818,4	2612,2-2818,4
21 de mayo o 21 de jul.	3200,9-3260,5	3200,9-3260,5	3200,9-3260,5	3200,9-3260,5	3200,9-3260,5
21 de junio	3306,7	3306,7	3306,7	3306,7	3306,7

10° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	9647	911,4	697,1	512,7	409,6
21 de en. o 21 de nov.	1063,4-1150,1	979,2-1060,6	762,2-824,6	596,8-648,3	482,9-521
21 de feb. o 21 de oct.	1692,7-1882,5	1569,6-1771,3	1353,6-1508,2	1123-1250,5	1011,8-1125,8
21 de mar. o 21 de sep.	2091,4-2560,7	2039,9-2498,3	1836,4-2248,8	1641,1-2010,1	1559,8-1909,7
21 de abril o 21 de ag.	2764,2-2981,1	2658,3-2861,8	2587,8-2791,3	2457,6-2650,2	2379-2563,4
21 de mayo o 21 de jul.	3154,8-3211,7	3252,4-3312,1	3171,1-3230,7	3118,8-3173,7	3070,7-3127,5
21 de junio	3255,1	3314,8	3276,8	3252,4	3217,1

20° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	1236,9	1009,1	689	520,1	127,5
21 de en. o 21 de nov.	1304,7-1410,5	1147,4-1239,6	762,2-824,6	596,8-648,3	482,9-521
21 de feb. o 21 de oct.	1945-2164,6	1717,3-1972,1	1294-1440,4	884,3-984,7	650,4-732,4
21 de mar. o 21 de sep.	2270,4-2780,4	2134,8-2614,9	1782,2-2181	1388,8-1698,1	1196,3-1482,1
21 de abril o 21 de ag.	2843-3065,2	2756-2973	2498,3-2893,6	2229,7-2406,1	2077,8-2240,6
21 de mayo o 21 de jul.	3196,4-3255,1	3192,7-3252,4	3051,7-3108,6	2905,2-2959,4	2840,1-2891,6
21 de junio	3222,6	3233,4	3146,6	3076,1	3030

30° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	1443,1	1209,8	661	132,9	-
21 de en. o 21 de nov.	1497,4-1619,4	1275-1380,7	748-805,6	255-276,7	-
21 de feb. o 21 de oct.	2148,4-2389,8	1888-2102,3	1275-1418,7	648,3-721,5	279,4-309,2
21 de mar. o 21 de sep.	2365,4-2694,3	2194,5-2685,5	1698,1-2090,6	1123-1372,6	841-1030,8
21 de abril o 21 de ag.	2804,9-3024,5	2737-2951,3	2384,4-2571,5	1912,4-2064,3	1703,5-1839,1
21 de mayo o 21 de jul.	3062,5-3119,5	3067,9-3124,9	2907,9-2962,2	2617,6-2666,5	2511,8-2558,1
21 de junio	3019,1	3046,2	2969,3	2802,1	2715,3

45° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	1670,9	1331,9	645,6	51,5	-
21 de en. o 21 de nov.	1727,9-1866,3	1399,7-1513,6	705,3-762,2	173,6-187,2	-
21 de feb. o 21 de oct.	2189-2435,9	1942,2-2161,9	1201,7-1337,3	471,9-526,2	-
21 de mar. o 21 de sep.	2384-2918,7	2148,4-2631,2	1565,1-1915	835,5-1022,7	255-311,9
21 de abril o 21 de ag.	2753,3-2970,3	2552,6-2753,3	2159,2-2327,4	1470,2-1569,9	1125,7-1212,5
21 de mayo o 21 de jul.	2663,8-2712,6	2731,6-2780,4	2568,8-2614,9	1966,6-2004,6	1953-1991
21 de junio	2598,7	2709,9	2647,5	2289,4	2218,9

60° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	1787,6	1353,6	531,7	35,3	-
21 de en. o 21 de nov.	1817,4-1966,6	1435-1551,6	585,9-632	67,8-75,9	-
21 de feb. o 21 de oct.	2303-2563,4	1915,1-2132	1006,4-2132,1	295,7-328,2	-
21 de mar. o 21 de sep.	2267,7-2777,7	2018,2-2471,2	1378-1687,2	634,6-775,8	2,7126-2,7126
21 de abril o 21 de ag.	2278,6-2457,6	2256,9-2433,2	1888-2007,3	1098,6-1185,4	377-406,9
21 de mayo o 21 de jul.	2134,8-2172,8	2322-2365,4	2219-2259,6	1597,7-1630,3	1234,2-1256
21 de junio	2023,6	2227,0	2286,7	1757,8	1456,7

75° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	1774	1326,5	409,6	16,3	-
21 de en. o 21 de nov.	1787,6-1931,4	1378-1492	477,4-515,4	51,5- 57	-
21 de feb. o 21 de oct.	2151-2395,2	1736-1931,4	835,5-1022,7	187,2-209	-
21 de mar. o 21 de sep.	1963-2389,8	1722,5-2110,2	1242,4-1510,8	413,1-529	-
21 de abril o 21 de ag.	1760,5-1899	1828,3-1954,7	1545,3-1654,7	816,5-881,6	119,4-130,2
21 de mayo o 21 de jul.	1443,1-1470,2	1785-1817,4	1831-1866,3	1231,5-1256	436,7-445
21 de junio	1302	1686	1842	1302	697,1

90° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	1663	1218	312	13,6	-
21 de en. o 21 de nov.	1641,1-1776,7	1209,8-1310,2	312-339,1	32,5- 35,3	-
21 de feb. o 21 de oct.	1888-2102,3	1456,7-1622,1	659,2-735,1	136,6-152	-
21 de mar. o 21 de sep.	1513,6-1862,5	1417,7-1736,1	1047,1-1283,1	301,1-369	-
21 de abril o 21 de ag.	1147,4-1239,6	1375,3-1483,8	1207,1-1302,1	564,2-607,6	57- 62,4
21 de mayo o 21 de jul.	686,3-699,8	1237-1258,6	1452,1-1489,2	662,6-678,2	238-233,3
21 de junio	586	1161	1405	908	350

TABLA E. Radiación difusa en condiciones medias
 40° Latitud norte
 (Área de Nueva York-Nueva Jersey)
 Radiación: Difusa media
 Total diario en kcal/m²

0° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	548	548	548	548	548
21 de enero o 21 de nov.	607,6	607,6	607,6	607,6	607,6
21 de feb. o 21 de oct.	824,6	824,6	824,6	824,6	824,6
21 de mar. o 21 de sep.	1147,4	1147,4	1147,4	1147,4	1147,4
21 de abril o 21 de agosto	1581,4	1581,4	1581,4	1581,4	1581,4
21 de mayo o 21 de julio	1820,1	1820,1	1820,1	1820,1	1820,1
21 de junio	1901,5	1901,5	1901,5	1901,5	1901,5

10° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	596,7	567	537,1	510	518,1
21 de enero o 21 de nov.	656,4	648,3	613	591,3	586
21 de feb. o 21 de oct.	889,7	873,5	843,6	794,8	778,5
21 de mar. o 21 de sep.	1261,4	1215,2	1152,8	1093,2	1058
21 de abril o 21 de agosto	1624,8	1600,4	1578,7	1538	1467,5
21 de mayo o 21 de julio	1858,1	1820,1	1825,6	1779,5	1703,5
21 de junio	1931,4	1939,5	1920,5	1898,8	1779,5

20° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	648,3	605	447,6	469,3	458,4
21 de enero o 21 de nov.	705,3	680,8	515,4	556,1	515,4
21 de feb. o 21 de oct.	982	944	765	737,8	689
21 de mar. o 21 de sep.	1304,7	1264,1	1128,4	1025,4	982
21 de abril o 21 de agosto	1714,4	1671	1513,6	1416	1397
21 de mayo o 21 de julio	1879,8	1869	1763,2	1719,8	1671
21 de junio	1926	1926	1817,4	1779,5	1779,5

30° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	700	632	447,6	463,8	436,7
21 de enero o 21 de nov.	756,8	718,8	518,1	518,1	482,8
21 de feb. o 21 de oct.	1044,3	948,7	759,5	716,1	661,8
21 de mar. o 21 de sep.	1353,6	1304,7	1115	944	876,2
21 de abril o 21 de agosto	1719,8	1684,5	1470,2	1375,3	1264,1
21 de mayo o 21 de julio	1820,1	1852,7	1725,2	1635,7	1584,2
21 de junio	1879,8	1885,3	1790,3	1719,8	1676,4

45° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	808,3	686,3	447,6	434	415
21 de enero o 21 de nov.	841	773,1	510	482,8	482,8
21 de feb. o 21 de oct.	1079,6	1047,1	743,3	664,6	640,2
21 de mar. o 21 de sep.	1375,3	1323,7	1060,6	906	822
21 de abril o 21 de agosto	1646,5	1630,3	1429,5	1226,1	1123
21 de mayo o 21 de julio	1711,6	1736,1	1641,1	1505,5	1378
21 de junio	1703,5	1728	1695,4	1546,2	1497,4

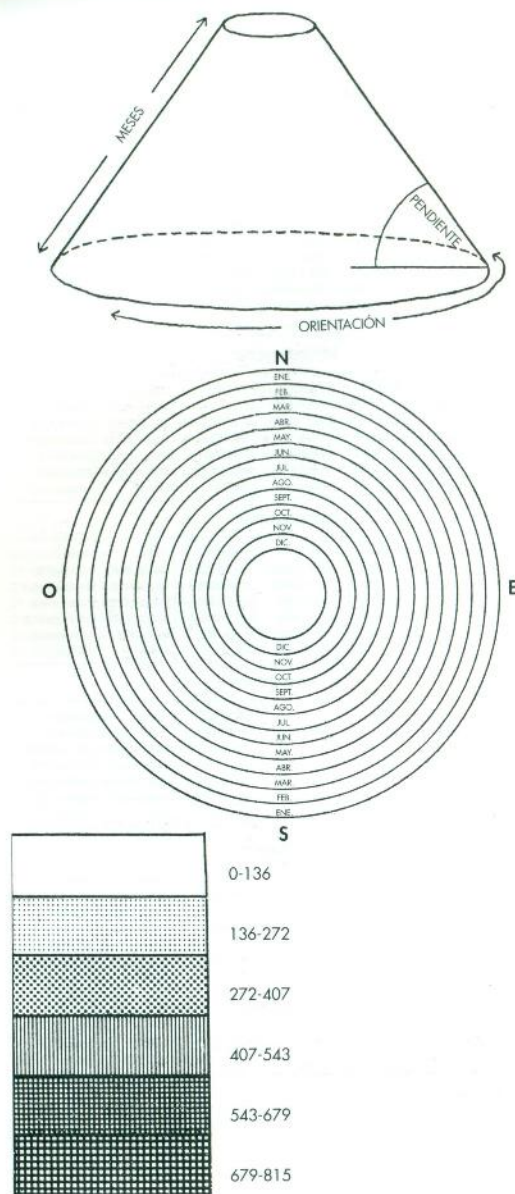
60° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	884,3	716,1	515,4	401,5	379,7
21 de enero o 21 de nov.	868	811,1	588,6	461,1	458,4
21 de feb. o 21 de oct.	1090,5	1060,6	737,8	615,7	607,6
21 de mar. o 21 de sep.	1304,7	1283,1	1077	827,3	762,2
21 de abril o 21 de agosto	1502,8	1506,2	1359	1090,5	990,1
21 de mayo o 21 de julio	1530	1562,5	1578,7	1367,1	1228,8
21 de junio	1524,5	1586,8	1646,5	1435	1302

75° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	851,7	702,5	499,1	388	344,5
21 de enero o 21 de nov.	857,2	800,2	558,8	428,6	396
21 de feb. o 21 de oct.	1041,6	987,4	683,6	575,1	526,2
21 de mar. o 21 de sep.	1204,4	1188,1	1006,4	759,5	699,8
21 de abril o 21 de agosto	1313	1361,7	1237	995,5	889,7
21 de mayo o 21 de julio	1302	1402,4	1389	1199	1071,5
21 de junio	1318,3	1394,3	1418,7	1291,2	1142

90° Inclinación					
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N
21 de diciembre	789,4	664,6	480,1	366,2	320
21 de enero o 21 de nov.	784	748,7	545,2	407	369
21 de feb. o 21 de oct.	925	911,4	727	531,3	515,4
21 de mar. o 21 de sep.	1039	1022,6	889,7	705,3	675,4
21 de abril o 21 de agosto	1150,1	1182,7	1096	916,9	835,5
21 de mayo o 21 de julio	1142	1207,1	1207,1	1104	1011,8
21 de junio	1166,4	1204,4	1253,2	1139,2	1071,5

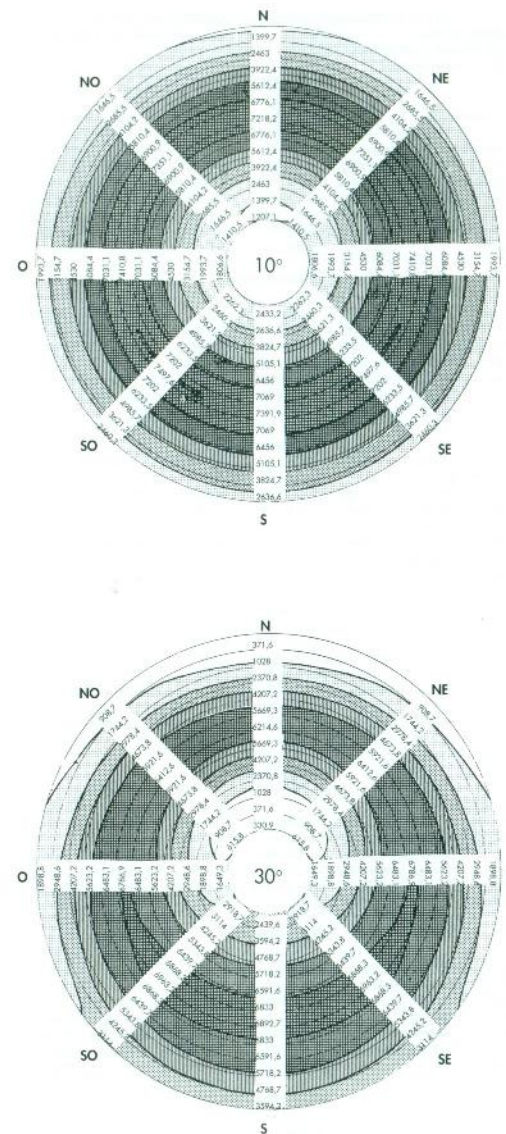
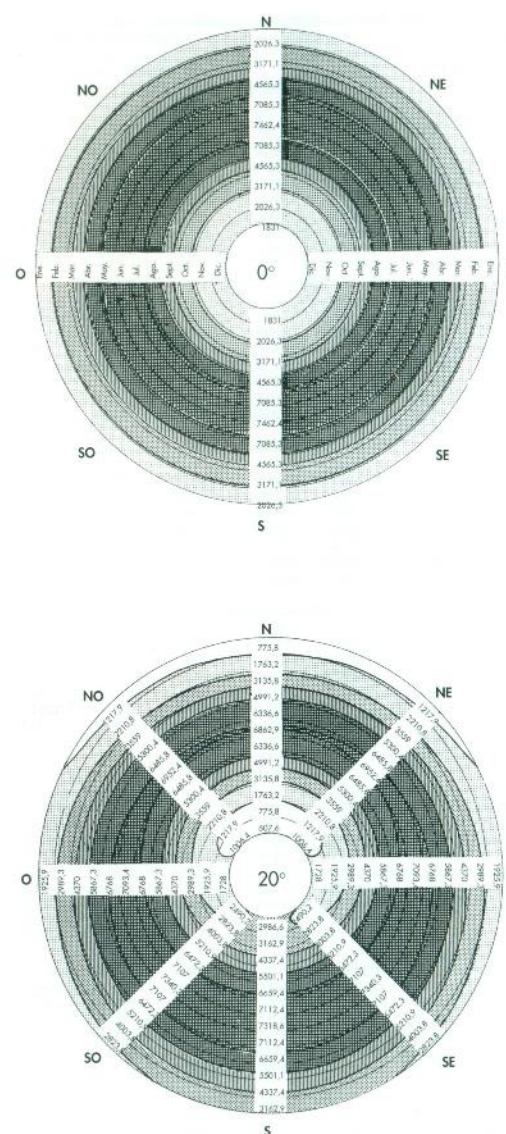
TABLA F. Radiación total en condiciones medias
 40° Latitud norte
 (Área de Nueva York-Nueva Jersey)
 Radiación: Total media
 Total diario en kcal/m²

Total diario en Kwh/m²		0° Inclinación				
Meses	S	SE SO	O	NE NO	N	
21 de diciembre	1255,9	1255,9	1255,9	1255,9	1255,9	
21 de en. o 21 de nov.	1389-1454	1389-1454	1389-1454	1389-1454	1389-1454	
21 de feb. o 21 de oct.	2194,4-2349,1	2194,4-2349,1	2194,4-2349,1	2194,4-2349,1	2194,4-2349,1	
21 de mar. o 21 de sep.	2997,4-3412,5	2997,4-3412,5	2997,4-3412,5	2997,4-3412,5	2997,4-3412,5	
21 de abril o 21 de ag.	4193,7-4399,8	4193,7-4399,8	4193,7-4399,8	4193,7-4399,8	4193,7-4399,8	
21 de mayo o 21 de jul.	5021-5080,7	5021-5080,7	5021-5080,7	5021-5080,7	5021-5080,7	
21 de julio						



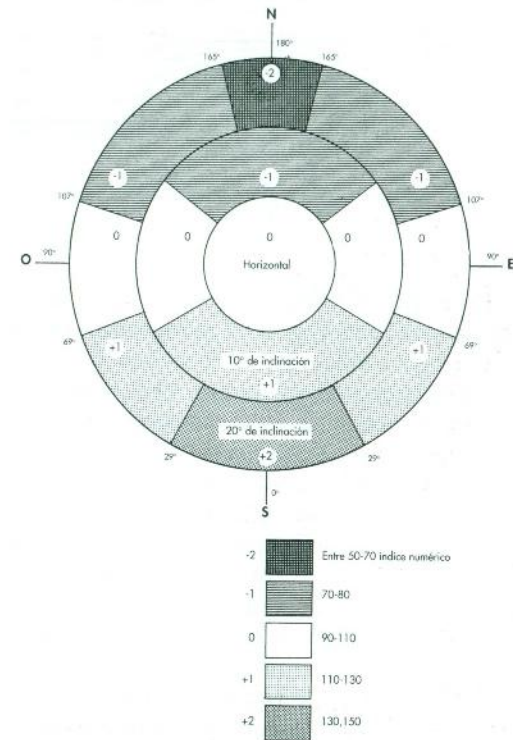
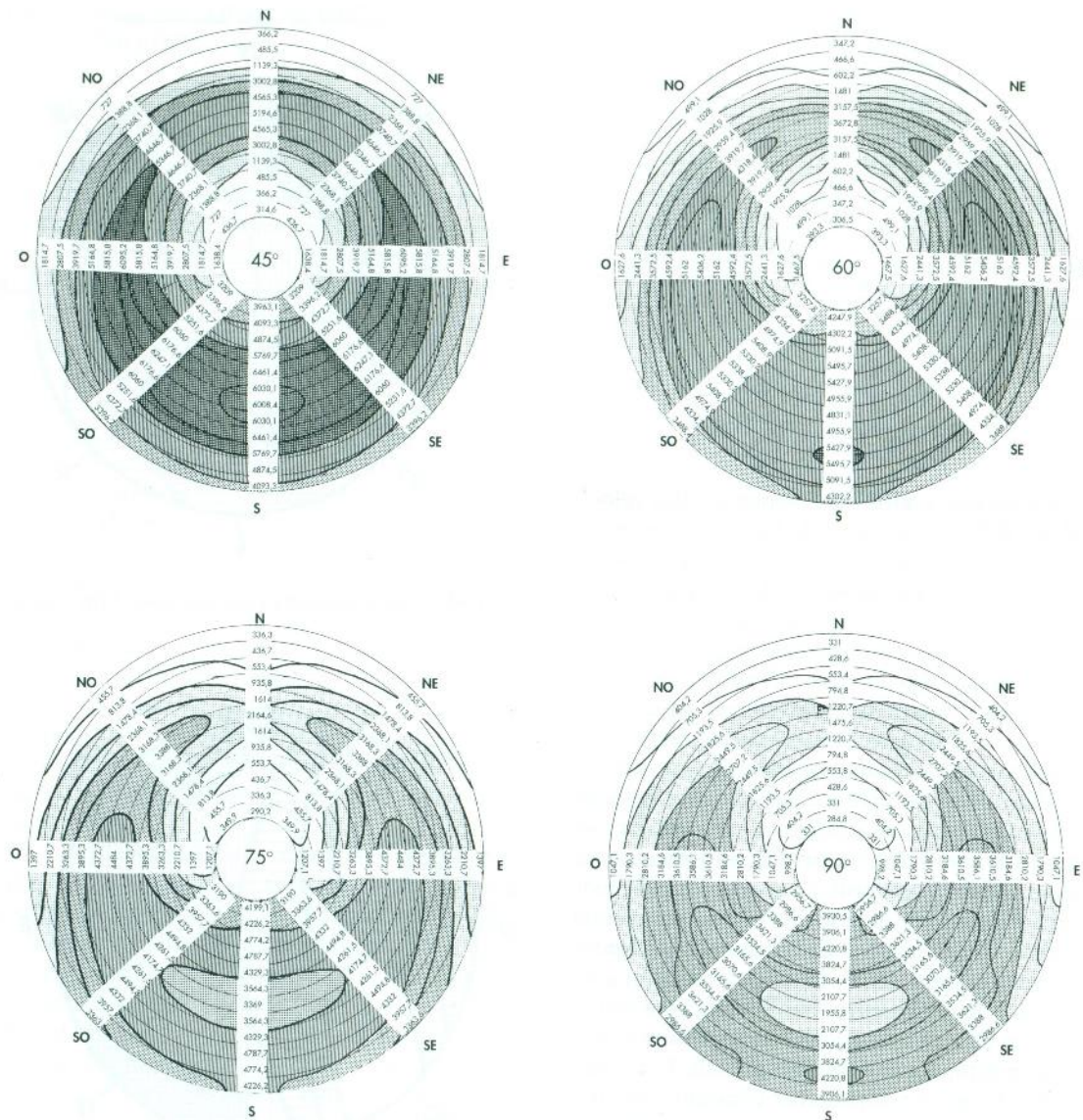
86-95. Gráficos de radiación para una latitud de 40° N en la zona de Nueva York-Nueva Jersey.

Cuando trasladamos los valores de la radiación para un día despejado en el área de Nueva York-Nueva Jersey a una expresión gráfica, obtenemos unas gráficas que son la proyección horizontal de una forma cónica y que nos muestran la relación entre el factor temporal y la orientación. En la proyección horizontal del cono se in-



dicen diferentes cantidades de radiación. Las divisiones de intensidad de radiación (en kcal/m² día) están indicadas con diferentes tramas. Las gráficas muestran los efectos de la radiación en todas las orientaciones y para ocho inclinaciones diferentes, desde el plano horizontal (0° de pendiente) hasta el vertical (90°).

Las condiciones de radiación media son muy importantes en la evaluación de los emplazamientos. Al elegir un lugar adecuado debe optarse por una superficie inclinada antes que por una horizontal; por otra parte, es importante que el emplazamiento reciba grandes cantidades de radiación solar durante los

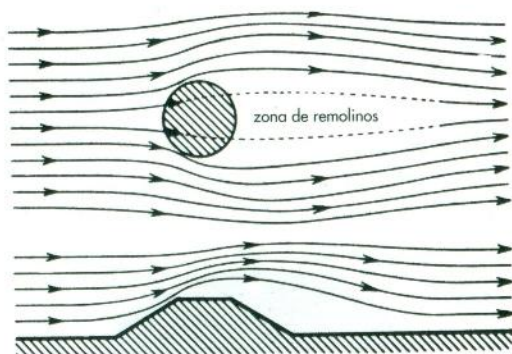


96. Evaluación del efecto de la radiación total, para la selección del emplazamiento en la zona de Nueva York-Nueva Jersey.

períodos fríos y menor asoleo en épocas cálidas. Como medida de referencia para aproximarnos con nuestros cálculos a dichas condiciones, hemos tomado los tres meses más fríos del año (desde el 7 de diciembre hasta el 7 de marzo) y los tres más calurosos (desde el 7 de junio hasta el 7 de septiembre). En estas

evaluaciones no se han investigado terrenos con pendientes superiores a los 20°, por considerarse generalmente inapropiados para la edificación. Los resultados de este estudio se han sintetizado para pendientes de 10° y 20°, agrupando en cinco categorías arbitrarias los impactos de radiación en todas las orientacio-

nes. Estas categorías pueden expresarse también como factores de radiación temporales, ya que la misma intensidad de radiación recibida en laderas orientadas a sur afectará a las llanuras algunas semanas más tarde. En otras palabras, un emplazamiento situado en una pendiente que recibe un 20 % más de radiación



97. Comportamiento del viento en torno a una colina.

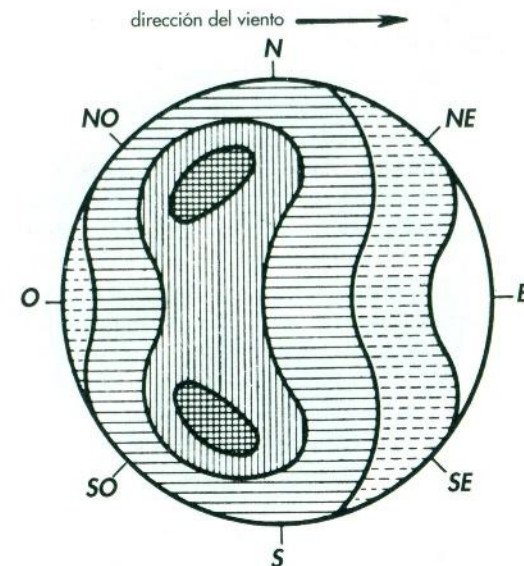
ción durante el invierno que uno situado en una llanura, entrará en la primavera con dos semanas de antelación. De la misma forma, en una pendiente que recibe un 40 % más de radiación invernal, la primavera se adelantará 3,5 semanas. Como consecuencia, podemos asumir que pendientes con un índice numérico entre los 110 y los 130, y pendientes con índice entre 130 y 150, se encuentran 2 y 3,5 semanas respectivamente más cerca de la primavera que las planicies horizontales. Aquellos emplazamientos con un índice numérico inferior a 100 tendrán una primavera tardía.

Debe notarse aquí que los gráficos son simétricos debido, básicamente, a que solamente se ha tomado en cuenta la radiación. No obstante, teniendo en mente el hecho de que las mañanas son más frescas que las tardes, si debemos escoger entre dos territorios con el mismo índice, nuestras preferencias deberán dirigirse más hacia el este que hacia el oeste.

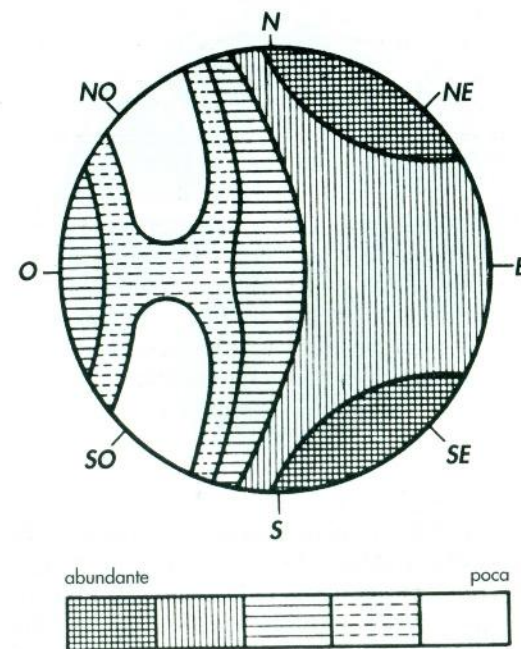
Una colina afecta tanto a la distribución de los vientos como a la de las precipitaciones. Geiger realizó observaciones y mediciones en relación a este fenómeno.⁷ Una montaña desvía las ráfagas de viento según un modelo de flujos tanto horizontal como verticalmente, originando mayor aceleración cerca de la cima en la ladera enfrentada al viento y menos turbulencias en la zona baja de la misma. La distribución de

vientos en una colina crea zonas de alta velocidad por debajo y a ambos lados de la cresta; los flujos más lentos se localizan cerca de la base en la zona de "sombra" de vientos.

En la cara de la colina que se encuentra enfrentada al viento, las ráfagas empujan las precipitaciones hacia la falda, cayendo de forma más vertical hacia la base, donde prevalecen movimientos del aire más débiles e irregulares. Sin embargo, las montañas muy altas producen distribuciones de precipitaciones exactamente opuestas. Cuando el aire, en la cara ventosa, es forzado a ascender, se producen procesos de condensación y precipitación adiabáticos. Este modelo de precipitación conforma el carácter climático de la costa Californiana. Los vientos procedentes del Océano Pacífico producen alrededor de 51 centímetros de lluvia en los valles costeros. El aire ascendente en las laderas de la sierra origina un depósito de más de 127 centímetros. El aire comprimido y cálido que desciende por la ladera oriental, absorbe la humedad en lugar de liberarla. De aquí el carácter tan árido de la zona de Nevada donde Reno, por ejemplo, sólo recibe anualmente 15 centímetros de lluvia. Un efecto similar se produce en la Riviera, donde la barrera protectora de los Alpes impide el paso de los fríos vientos nórdicos; y el aire descendente, templado por la compresión, proporciona inviernos muy benignos.



98. Efecto de la velocidad del viento en una colina.

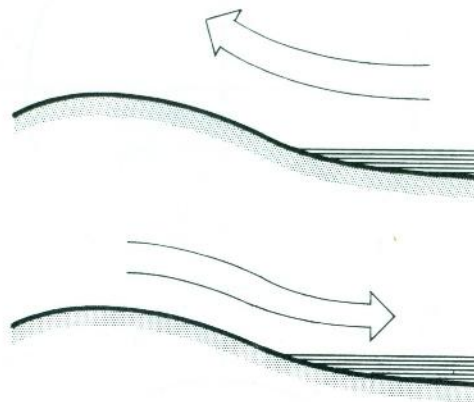


99. Distribución de las precipitaciones en una colina.

ENTORNO NATURAL Y ENTORNO CONSTRUIDO

El agua del mar, que tiene un calor específico mayor que el de la tierra, se encuentra normalmente más templado que ésta en invierno y más frío en verano; y, generalmente, su temperatura respecto a la de la tierra es inferior durante el día y superior por la noche. Como consecuencia, la proximidad de masas de agua modera las temperaturas extremas, elevando las mínimas en invierno y disminuyendo las máximas en verano. En la región de los Grandes Lagos, este efecto hace que la temperatura media del mes de enero se eleve alrededor de 3 °C, la temperatura mínima absoluta cerca de 5,5 °C y la mínima anual unos 8 °C. En el mes de julio provoca un descenso aproximado de la temperatura media de 2 °C, y la máxima absoluta anual baja alrededor de 3 °C.⁸ Durante las variaciones diurnas de la temperatura, cuando la tierra está más caliente que el agua, se producen movimientos bajos de aire hacia el interior haciendo el efecto de tiro. Durante el día dicha brisa refresca la temperatura en 5,5 °C. Por la noche, la dirección es opuesta. Los efectos dependen del tamaño de la masa de agua y son más efectivos en las zonas bajas.

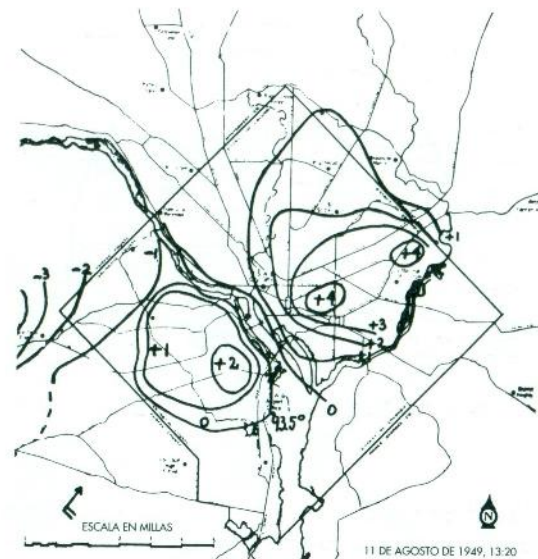
Las características naturales del terreno tienden a moderar las temperaturas extremas y a estabilizar las condiciones, debido principalmente a las cualidades reflectoras de las diferentes superficies (discutidas en el capítulo anterior). La capa de plantas y hierba que cubre el suelo reduce las temperaturas absorbiendo parte de la insolación y enfriándose a través de la evaporación. Esta reducción permite acumular 4200 kcal/m² por estación.⁹ Generalmente, en días soleados de verano, la temperatura en la superficie de la hierba es, aproximadamente, entre 5 y 8 °C inferior que en el suelo expuesto directamente. Otros tipos de vegetación pueden reducir aún más el calor; por ejemplo, se ha observado que la temperatura bajo un árbol, al mediodía, es casi 3 °C inferior que en un área sin sombra.¹⁰



100. Movimiento del aire cerca de una masa de agua.

Por el contrario, las ciudades y las superficies realizadas por el hombre tienden a elevar las temperaturas, ya que la mayoría de los materiales utilizados son absorbentes. Landsberg hace referencia a algunas observaciones en las cuales superficies asfaltadas alcanzaron los 51 °C, cuando la temperatura del aire era solamente de 37 °C. También midió la distribución de temperaturas de un día soleado en Washington D.C., y encontró una diferencia de temperatura de hasta 4 °C en distancias horizontales de pocos kilómetros. Por la noche, las variaciones de temperatura eran aún mayores; algunos territorios suburbanos tenían temperaturas 6 °C inferiores a las del centro de la ciudad.¹¹ El esquema adjunto ilustra el efecto del "clima de la ciudad". Nótese lo cercanas que pasan las líneas de las zonas edificadas.

Si consideramos que en Estados Unidos existe una diferencia de 5 °C de temperatura media, en lugares alejados entre sí aproximadamente unos 9° de latitud, la importancia de elegir cuidadosamente el emplazamiento se



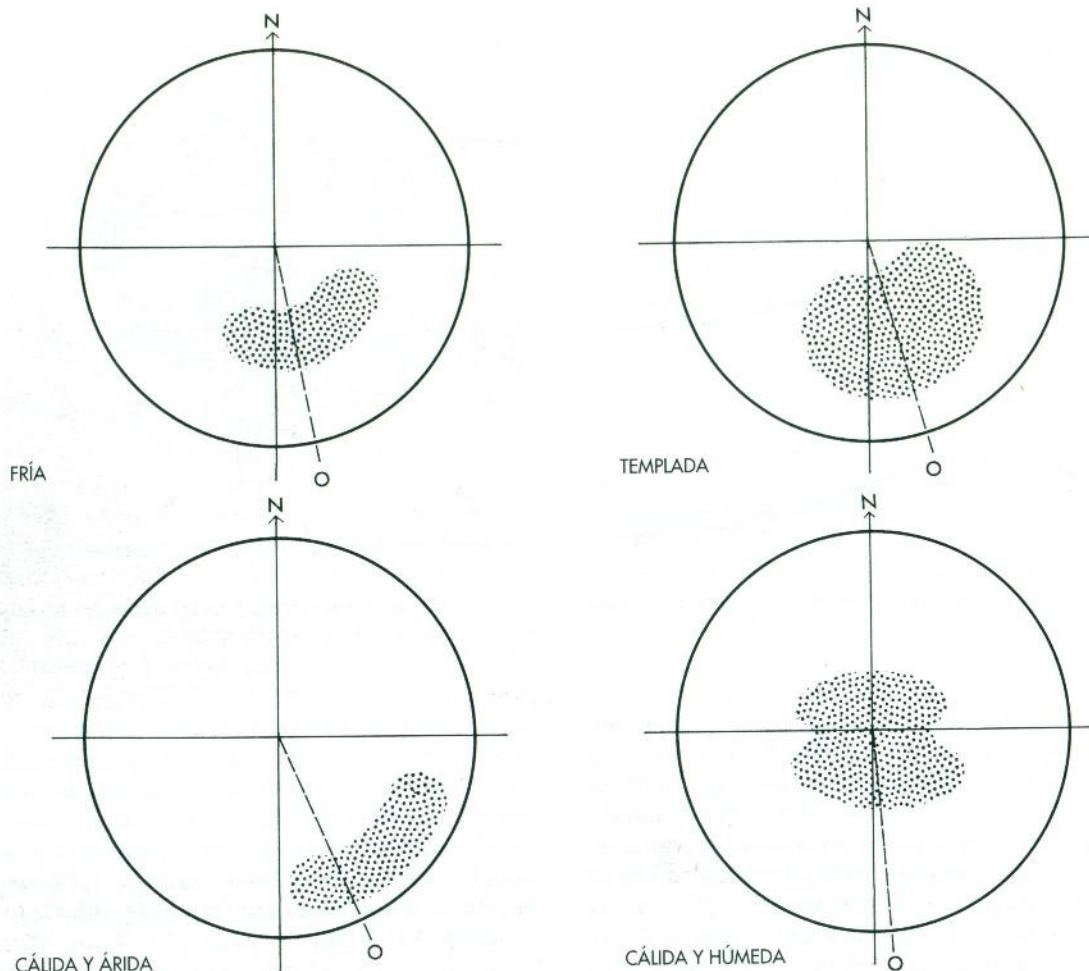
101. Distribución de la temperatura a primera hora de la tarde, en verano, en Washington.

hace evidente. La zonificación, basada en el análisis microclimático, debe estar diferenciada de acuerdo con las condiciones de vida apropiadas. Los emplazamientos deben mejorarse colocando barreras contra el viento y arbolado para proporcionar sombra. Estos aspectos se discutirán con mayor detalle en los capítulos VII y IX.

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Según el entorno, y de acuerdo con las necesidades bioclimáticas específicas de una región, la situación topográfica adecuada para la vivienda y el desarrollo de otras actividades humanas, será diferente.

En zonas frías, donde la conservación del calor es el objetivo principal, los emplazamientos apropiados serán los más protegidos. La parte baja del "cinturón térmico", en pendientes situadas en las zonas de "sombra de vien-



102. Emplazamiento favorable en diversas zonas.

tos", y expuestas al asoleo invernal, ofrecen la posición más ventajosa. La orientación sureste asegura, por otra parte, una distribución calorífica equilibrada. De acuerdo con esto, los emplazamientos situados a media ladera y orientados a sur y sureste, ofrecerán las mejores condiciones de habitabilidad en zonas frías.

En zonas templadas los requisitos para el emplazamiento no son tan estrictos como en las zonas frías, pero, aunque las posibilidades son más amplias, deben satisfacer las necesi-

dades tanto en períodos fríos como en épocas cálidas. La exposición más apropiada tiende hacia la zona más oriental del sur, tal y como indica el índice de orientación. El efecto del flujo de aire frío es menos importante, permitiendo la implantación en las partes más bajas de la ladera. El emplazamiento topográfico elevado, en una "ladera cálida", ofrece ventajas, siempre y cuando exista una protección adecuada contra el viento. La presencia de la brisa en tiempo caluroso crece en importan-

cia. Este aspecto no entra en conflicto con la protección del viento durante el invierno, ya que la dirección de los vientos estacionales generalmente no coinciden. En las zonas templadas las necesidades variables de asoleo y de sombra deben estudiarse cuidadosamente.

En zonas áridas y calurosas las necesidades de protección frente a las altas temperaturas es muy superior a los requisitos de los períodos fríos. Los emplazamientos en la parte más baja de las laderas, que se benefician de las corrientes de aire fresco, son adecuadas siempre que se adopten las medidas necesarias para impedir el embalsamiento de dicho flujo durante épocas frías. La tipología de la casa-patio es una solución adecuada, ya que favorece el almacenamiento del aire en las inmediaciones y su enfriamiento nocturno al cesar la radiación solar. Los efectos del viento tienen relativamente poca importancia. El amplio margen de temperaturas diarias hace que la exposición hacia el este proporcione un equilibrio adecuado del calor diario. La sombra es necesaria durante la mayor parte del año; como consecuencia, las orientaciones más apropiadas para las zonas áridas y calurosas son la este y la sureste.

En regiones cálidas-húmedas el movimiento del aire constituye el elemento principal para alcanzar el confort. Los emplazamientos más adecuados son aquellos que, aunque se encuentren fuera de la dirección del viento predominante, estén situados en áreas expuestas a corrientes de aire, cerca de las cimas de las colinas o en zonas elevadas de la cara ventosa de la montaña, cerca de alguna arista. Las caras este y oeste de una montaña reciben mayor radiación que las otras orientaciones, donde los rayos inciden más oblicuamente. Así las pendientes en dirección norte o sur son las más apropiadas. No obstante, el efecto del viento permanecerá como la consideración más importante, teniendo en cuenta que la sombra podrá ser facilitada por otros medios.

Las posteriores consideraciones acerca de la selección del emplazamiento se proyectarán en formaciones montañosas esquemáticas.

VI. ORIENTACIÓN SOL-AIRE

EL SER HUMANO Y SU RELACIÓN CON EL SOL

La vida del hombre primitivo estaba sujeta al ciclo solar y muchos grupos rendían honores a la salida de este astro beneficioso orientando sus edificios más importantes hacia sus rayos. En Egipto se estudiaban los movimientos del sol, y se ha descubierto que los templos y las tumbas se orientaban de una forma precisa, en dirección a los puntos cardinales o sus subdivisiones.

Posteriormente, el hombre dejó de actuar respecto al sol como símbolo, interesándose más por sus efectos terapéuticos y psicológicos. En su tratado *De Architectura*¹, Vitrubio reconoce el emplazamiento salubre como el principal atributo de una ciudad, y proporciona diversas reglas para una correcta distribución. Entre sus preceptos destaca uno que afirma que "si se orientan hacia el mediodía o hacia occidente no serán salubres porque durante el verano la sección meridional del cielo se calienta al amanecer y arde al mediodía; de la misma forma, aquellas que miran hacia occidente se calientan al mediodía y arden por la tarde. Además, en estos lugares, los elementos se deterioran, debido a la continua alternancia de calor y frío". Vitrubio estaba muy interesado tanto en la calidad como en la regularidad del asoleo. La interpretación de la orientación desde el punto de vista urbanístico se acerca a la definición biológica: "cambio de posición producido por ciertos componentes protoplasmáticos dentro de la célula como respuesta a estímulos tales como luz, calor, etc."

El problema de la orientación en las edificaciones abarca numerosos factores: la topografía local, las exigencias de privacidad, los placeres que proporcionan las vistas, la reducción del ruido y los factores climáticos referentes al viento y a la radiación solar. (En el capítulo IX se discutirán las direcciones del

viento y su influencia en la orientación.) Una parte muy importante de la labor arquitectónica consiste en la determinación de la posición del edificio para el aprovechamiento máximo de los beneficios térmicos, higiénicos y psicológicos que brinda la radiación solar.

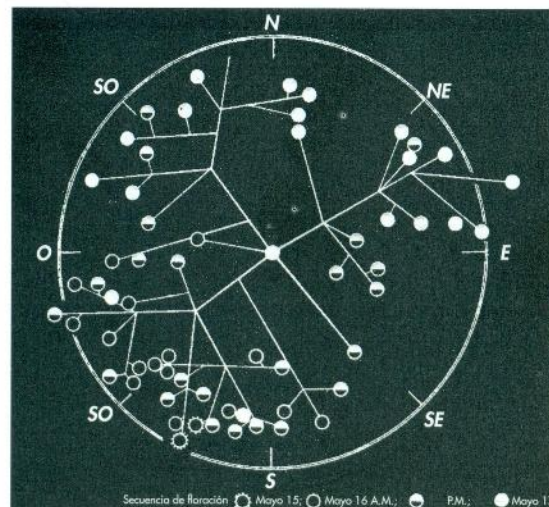
De la misma forma que las estaciones se encuentran muy diferenciadas por la inclinación del eje terrestre, la orientación de un edificio determina la cantidad de radiación que incide en los distintos lados en diferentes momentos. Durante el invierno, un área expuesta a sur y a 40° de latitud recibe aproximadamente tres veces más energía solar que las expuestas a este y a oeste; mientras que, en verano, la radiación que incide en los lados norte y sur es solamente la mitad de la que incide en las fachadas este y oeste. En latitudes más bajas estos índices son aún más pronunciados y pueden significar fácilmente la diferencia entre confort e incomodidad.

No hay duda de que el hombre primitivo advirtió los esfuerzos de adaptación de cierta vegetación a las tensiones térmicas. Además de los girasoles comunes y las caléndulas, existen numerosas plantas fototrópicas; las hojas del *convolvulus sepium* pueden girar hasta 270° persiguiendo los rayos del sol. Por el contrario, un tipo de lechuga denominada "planta brújula" (*latuca scariola*), orienta sus hojas paralelamente al sol para reducir el impacto de la radiación. No obstante, una superficie reflectante situada en otro eje puede forzar a la planta a cambiar su sólida orientación norte-sur.² En el gráfico se muestra la secuencia de floración de un pino de 15 años situado en el exterior.³ La presencia predominante de brotes hacia el lado sur-suroeste define el "eje calorífico", es decir la influencia conjunta de la radiación solar y las altas temperaturas del atardecer.

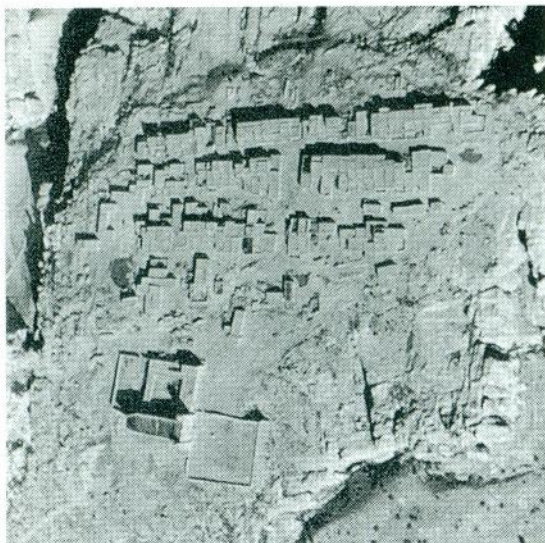
Pistas como éstas, unidas a una prolongada experiencia y conocimientos prácticos, de-



103. Orientación solar en una planta.



104. Secuencia de la floración de un pino.



105. Acoma.

ben haber servido de guía a los constructores de los pueblos indígenas tales como el de Acoma, que se encuentra levemente orientado hacia el este en dirección sur y organizado en largas calles con viviendas unidas lateralmente que corren de este a oeste. En esta tipología de vivienda en hilera la radiación que incide sobre los lados este y oeste queda prácticamente eliminada, al encontrarse unidas unas con otras, permitiendo solamente que las fachadas norte y sur sean las que reciban el impacto solar.

Los constructores egipcios y de la antigüedad clásica eran muy conscientes de la orientación solar, tanto por razones de salud como por motivos religiosos. El "cardo" o eje de los campamentos romanos, no se desviaba más de 30° del sur.⁴

TEORÍAS RECIENTES

Con el desarrollo de nuevas técnicas para medir la radiación y la acumulación de datos objetivos, la determinación de la orientación se puede realizar en base a cálculos. Estas medi-

ciones han constituido los cimientos para numerosas teorías acerca de la orientación solar.

Augustin Rey, J. Pidoux, y C. Bardet⁵ idearon un "valor heliotérmico" como base para su teoría de la orientación. Este valor consiste en el producto del tiempo de asoleo por la temperatura media predominante durante ese período. Con este producto, calcularon la intensidad anual de calor en varias orientaciones y, a partir de dichos cálculos, determinaron el eje heliotérmico que se encuentra a 19° hacia el este a partir del norte.

En el cálculo de las intensidades solares, Felix Marboutin⁶ llegó a las siguientes conclusiones:

1. Para conseguir las mejores condiciones de vida (calor en invierno y fresco en verano) las fachadas principales de un edificio deben orientarse a sur.
2. Las fachadas orientadas a sureste y a suroeste ofrecen la ventaja de un asoleo regular, pero son más frías en invierno y más calientes en verano que las que dan a sur.
3. Las exposiciones al este y al oeste son más calientes en verano y más frías en invierno, que las que dan a sur, sureste y suroeste.

Gaston Bardet⁷ ideó una tabla de orientación basada en la teoría de Marboutin. Bardet concluye que la orientación óptima debe ser la que da al sur, permitiendo variaciones de hasta 30° hacia el sureste y hacia el suroeste.

La gráfica publicada por Jean Lebreton⁸, define como más favorables las orientaciones que van desde el sur hasta los 25° hacia el este; como buenas condiciones las orientaciones que van hasta el sureste; y como tolerables las que van desde el sur hasta el suroeste.

Gaetano Vinaccia⁹ investigó acerca de la posición que proporcionaría las mismas condiciones de radiación en los cuatro lados de un edificio de viviendas rectangular. Encontró un "eje equisolar", a 32° desde el este hacia el nordeste-suroeste y orientó los lados más largos de su bloque de viviendas paralelos a dicho eje.

Ludwig Hilberseimer¹⁰ concluye que las orientaciones este y oeste son las más desfavorables, las sureste y suroeste razonablemente satisfactorias, y que la orientación sur es la mejor. Sin embargo, en una vivienda unifamiliar es preferible tener una combinación de orientaciones sureste y suroeste que una única opción sur.

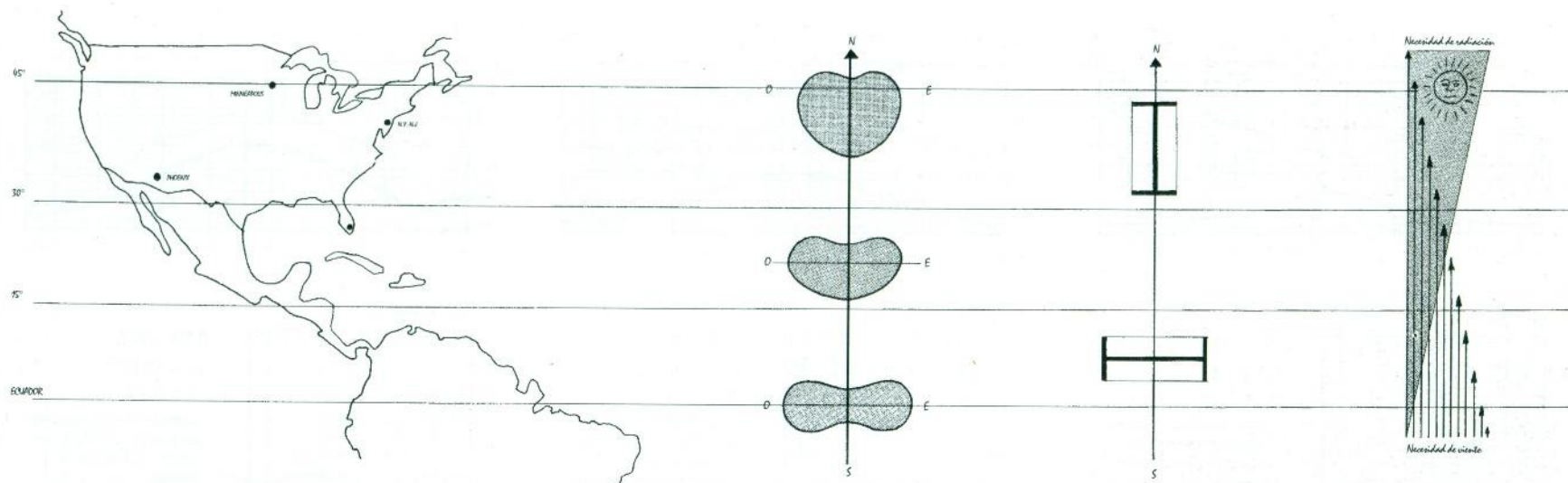
Según Henry Wrigth¹¹, en el área de Nueva York un edificio debe orientarse hacia 25° al oeste desde el sur para tener la mejor orientación. No obstante, él empleó valores muy exagerados en sus cálculos de radiación, lo cual los hace poco fiables.

Numerosas teorías posteriores relacionadas con las viviendas "solares" prefieren una orientación sur. Esta orientación, sin lugar a dudas, proporciona la mayor cantidad de radiación durante el solsticio invernal y la menor durante el verano, sin embargo, dichas teorías no tienen en cuenta las variaciones diarias de temperatura que resaltan la necesidad de radiación solar por la mañana y, muchas veces, lo desfavorable de su presencia por la tarde. Las teorías que exponen la necesidad urgente de sol en todas las habitaciones no son aplicables a regiones o estaciones que de por sí ya son calurosas.

INTERPRETACIÓN SOL-AIRE

Abordar el tema de la orientación partiendo de la conjunción "sol-aire" implica reconocer que la temperatura del aire y la radiación solar actúan conjuntamente para producir la sensación única de calor en el cuerpo humano. Así, al utilizar radiación solar, deben considerarse sus impactos térmicos en relación a la convección del calor y al efecto total medido según la capacidad de que se disponga para mantener los niveles de temperatura cercanos a la "zona de confort".

La importancia del calor proveniente del sol variará, entonces, según las regiones y las estaciones. En condiciones frías la radiación solar adicional es favorable y, como conse-



106. Sol y viento, los dos principales condicionantes de la orientación.

cuencia, es preciso colocar el edificio en la orientación más conveniente para que pueda recibir la mayor radiación posible; mientras que bajo unas condiciones de calor excesivo, la orientación de este mismo edificio debe proporcionar una disminución de los impactos solares desfavorables. A efectos de la gráfica bioclimática estas dos condiciones pueden definirse como períodos frío y cálido del año. Una orientación óptima en un emplazamiento dado será aquella que proporcione la máxima radiación durante el período frío y la mínima durante el cálido.

En la ilustración se indica, en forma de diagrama, la variedad de orientaciones en función de los requisitos regionales. En las latitudes más septentrionales generalmente el aire es frío y existe una gran necesidad de calor procedente del sol. Como consecuencia, las edificaciones deben orientarse para recibir una máxima cantidad de radiación durante todo el año. No obstante, el mismo edificio situado más al sur, donde el aire es más caliente, deberá girar su eje para evitar la radiación solar directa, más desfavorable, y acoger en su lugar las brisas refrescantes.

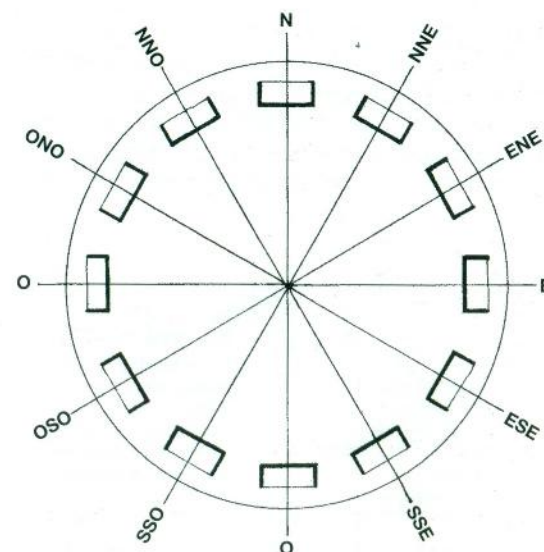
En el gráfico adjunto se ilustran los efectos de la radiación solar según las diversas orientaciones, haciendo rotar una superficie vertical según intervalos de 30° y calculando los impactos térmicos resultantes. Las gráficas de la página siguiente expresan los resultados para 40° de latitud norte basados en los datos obtenidos en la zona de Nueva York-Nueva Jersey. Cada una de dichas gráficas muestra:

1. La radiación directa media recibida en períodos fríos (R_u) y en períodos cálidos (R_o) durante un año, expresada en miles de kcal.

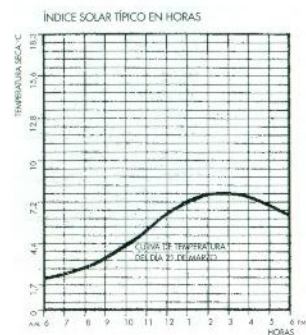
2. Radiación total diaria en días despejados expresada en kcal/m² durante los tres meses más fríos del año (del 7 de diciembre al 7 de marzo) y en los tres más cálidos (desde el 7 de junio hasta el 7 de setiembre). R_o y R_u indican las cantidades totales de radiación, y las curvas muestran la distribución de las calorías a lo largo del tiempo.

3. Índice horario de sol-aire, constituido por la curva de temperatura del 21 de marzo, junto con el impacto de radiación. Los cálculos se han realizado utilizando el método sol-aire y los niveles de absorción derivados de la gráfica

bioclimática. Muestra la distribución de radiación en relación con la curva diaria de temperatura. Si la radiación se recibe durante la mañana (como es el caso de las orientaciones



107. Diagrama explicativo de las orientaciones utilizadas en la evaluación.

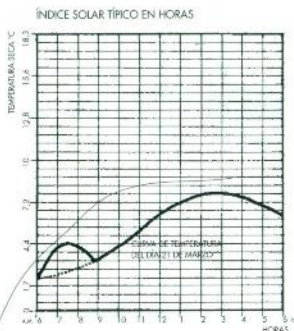


108. N

$R_u = 1,46$

$R_o = 1,11$

Características anuales:
cantidad mínima de
radiación, inadecuada.
Características diarias:
impacto de radiación
nulo.

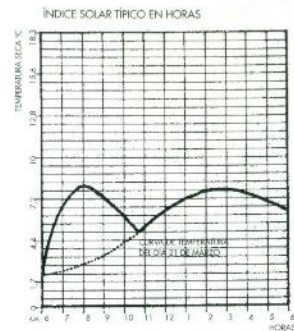


109. NNE

$R_u = 5,87$

$R_o = 2,32$

Características anuales:
cantidad de radiación,
inadecuada.
Características diarias:
impacto de radiación
reducido.

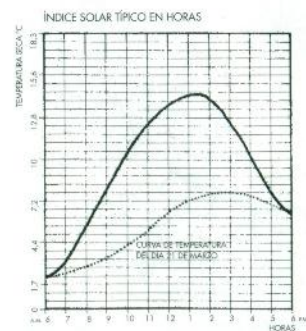
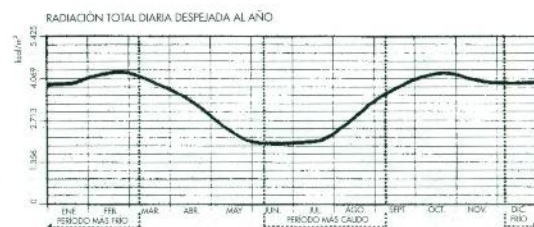


110. ENE

$R_u = 13,83$

$R_o = 5,64$

Características anuales:
pequeña cantidad, con
mayor radiación en
verano.
Características diarias:
distribución equilibrada
del calor.

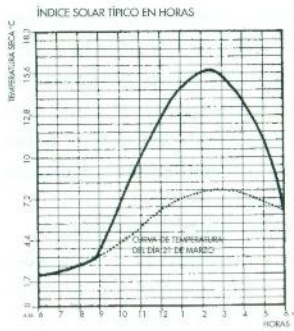
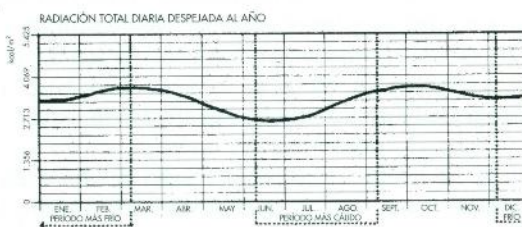


114. S

$R_u = 37,77$

$R_o = 9,05$

Características anuales:
buena relación entre R_u
y R_o .
Características diarias:
condiciones cerca de la
situación de equilibrio.

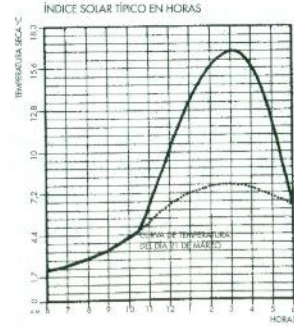


115. SSO

$R_u = 35,35$

$R_o = 11,24$

Características anuales:
distribución satisfactoria
y agradable.
Características diarias:
distribución calorífica
desbalanceada.

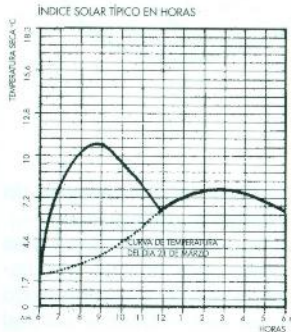
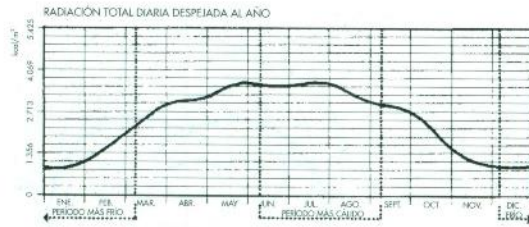


116. OSO

$R_u = 29,56$

$R_o = 13,28$

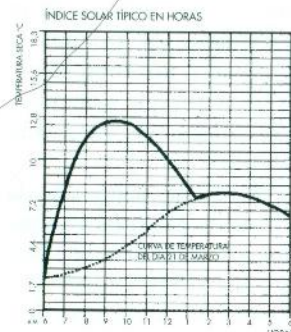
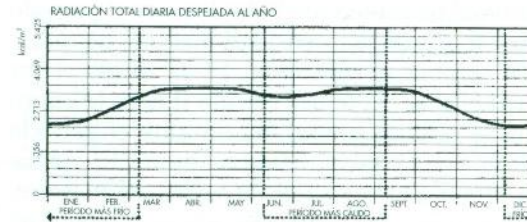
Características anuales:
cantidad satisfactoria,
aunque se registra un
poco más de radiación
en verano que en
invierno.
Características diarias:
distribución del calor
desequilibrada. Nótese
el alto valor de R_o .



111. E

$R_u = 23,61$
 $R_o = 8,21$

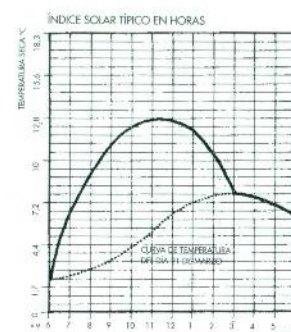
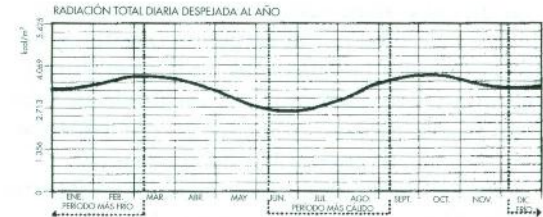
Características anuales:
cantidad adecuada, con
mayor radiación en
verano.
Características diarias:
buena distribución
calorífica.



112. ESE

$R_u = 33,36$
 $R_o = 9,47$

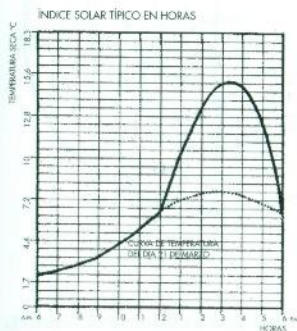
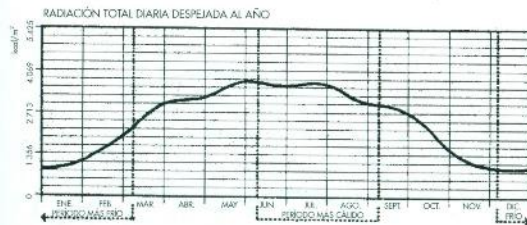
Características anuales:
buena distribución
aunque en verano se
registra mayor radiación
que en invierno.
Características diarias:
buena distribución
calorífica.



113. SSE

$R_u = 38$
 $R_o = 8,60$

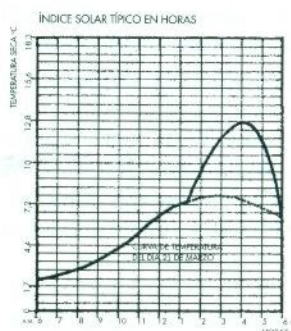
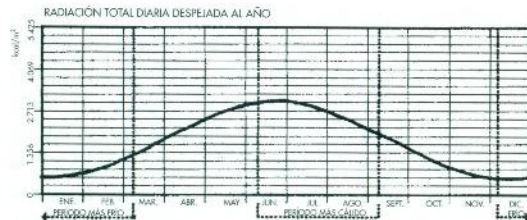
Características anuales:
buena distribución.
Relación entre R_u y R_o
muy satisfactoria.
Características diarias:
condiciones
correctamente
equilibradas.



117. O

$R_u = 18,75$
 $R_o = 14,59$

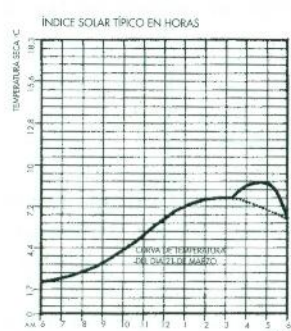
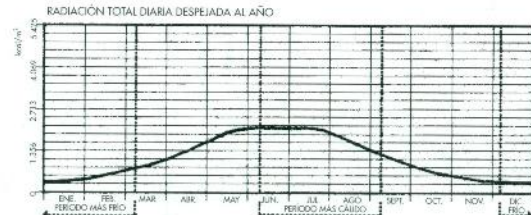
Características anuales:
cantidad adecuada,
aunque la mayor
radiación se produce en
verano.
Características diarias:
distribución del calor
inadecuada. Nótese el
alto valor de R_o .



118. ONO

$R_u = 7,88$
 $R_o = 9,60$

Características anuales:
pequeña cantidad de
radiación, la mayor
parte de la misma se
registra en verano.
Características diarias:
distribución
desequilibrada del calor.



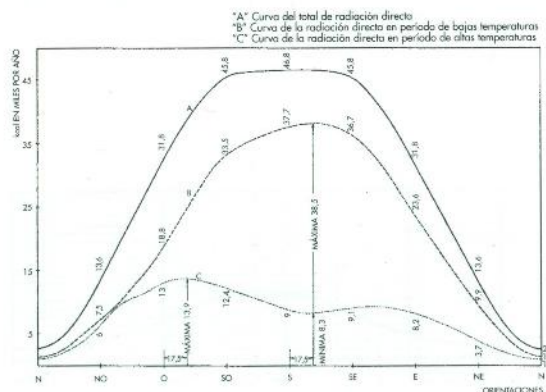
119. NNO

$R_u = 4,71$
 $R_o = 3,48$

Características anuales:
cantidad de radiación
inadecuada.
Características diarias:
pequeño impacto de
radiación.

hacia el este) la curva demuestra una distribución de calor más pareja. Si, en cambio, la radiación se recibe por la tarde (en orientaciones hacia el oeste), las máximas de temperatura se suman a las de radiación. El resultado de esto es un fuerte impacto calorífico en comparación con las bajas temperaturas de la mañana.

Estos detallados impactos de radiación pueden dibujarse en una sola gráfica. La que mostramos aquí ilustra los impactos de la radiación total media anual en el área de Nueva York (curva A), recibida sobre una superficie vertical en las diferentes orientaciones. Esta es la suma de la radiación recibida durante los períodos fríos (curva B) y durante los períodos cálidos (curva C). La orientación óptima es aquella en la cual la radiación solar es máxima durante el período frío y mínima durante el cálido.



120. Radiación anual recibida en superficies verticales con diferente orientación, en la zona de Nueva York-Nueva Jersey.

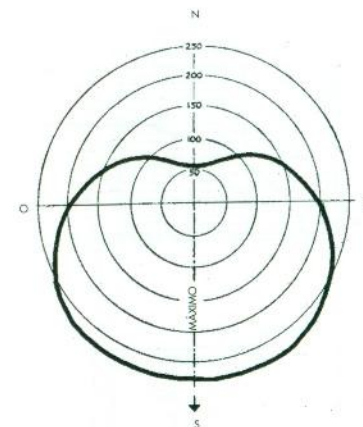
ADAPTACIÓN REGIONAL

La evaluación de la orientación óptima para el área de Nueva York-Nueva Jersey, utilizando los datos de radiación total (directa y difusa), queda ilustrada en las gráficas axiales. El primer círculo nos muestra la radiación total anual con la intensidad máxima apuntando

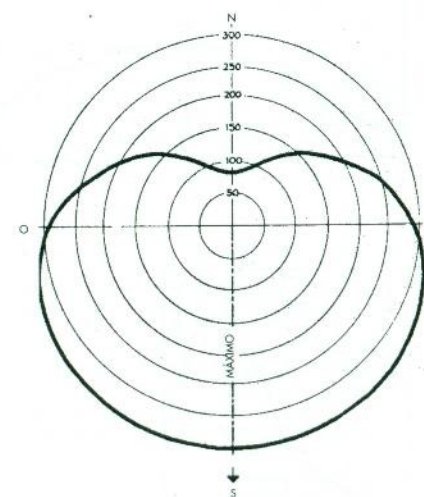
hacia el sur. El segundo círculo muestra la cantidad de asoleo recibido durante el período frío, en el cual la intensidad máxima de radiación cambia su dirección, $17\frac{1}{2}^\circ$ desde el sur hacia el este. El tercer círculo ilustra la cantidad de radiación recibida durante el período cálido, en el cual el máximo apunta $17\frac{1}{2}^\circ$ hacia el sur partiendo de la coordenada oeste. Todos estos datos inducen a la conclusión de que la orientación óptima para esta región será la que se encuentre a $17\frac{1}{2}^\circ$ al este de la coordenada sur. Las orientaciones "buenas" y "satisfactorias" (quinto círculo) también se derivan de los valores de radiación que tienen lugar durante los períodos cálidos (O) y durante los fríos (U), (cuarto círculo).

El segundo ejemplo ilustra la evaluación de las orientaciones para Phoenix, Arizona. En este caso, la cantidad de radiación es mayor, no solamente debido a la diferencia de la latitud sino también a la mayor proporción de tiempo despejado. El área de Nueva York-Nueva Jersey recibe el 60 % de la radiación anual posible, mientras que la de Phoenix recibe un 84 %. En el clima de Phoenix, más caluroso, el período frío es más corto que el cálido, los círculos de radiación evidencian esta diferencia. Puede observarse que la dirección favorable durante los períodos fríos se encuentra a 32° hacia el este, partiendo del eje sur; y que el máximo de radiación desfavorable, durante el período cálido, se sitúa 22° al sur del eje oeste. Dado que la dirección apropiada para evitar el impacto de calor máximo durante el período cálido y el eje de radiación favorable en período frío no coinciden perpendicularmente uno respecto a otro, es necesario realizar un ajuste. El equilibrio de ajuste entre las tensiones producidas por el calor y el frío, y la duración de las mismas, se ha logrado aquí inclinando la balanza en una proporción de $1/3-2/3$ en favor del período cálido, lo cual dio como resultado, para el área de Phoenix, una orientación "óptima" de 25° al este desde el eje del sur.

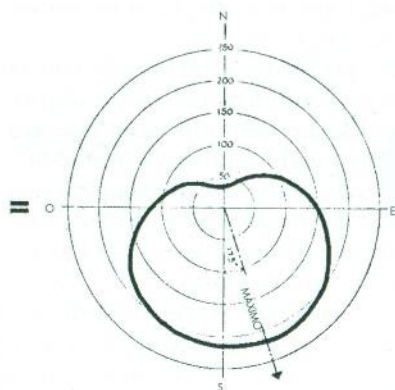
Las evaluaciones de la orientación según los datos anuales, dependen de la superficie que recibe el mayor impacto de la radiación



121. 1. El máximo asoleo proviene de una orientación directa al sur. (Radiación total anual para todas las orientaciones solares —radiación media recibida, durante todo el año, en una superficie vertical respecto a todas las orientaciones).

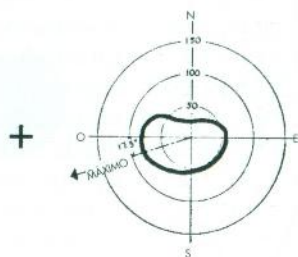


122. 1. Asoleo total anual en Phoenix, Arizona.



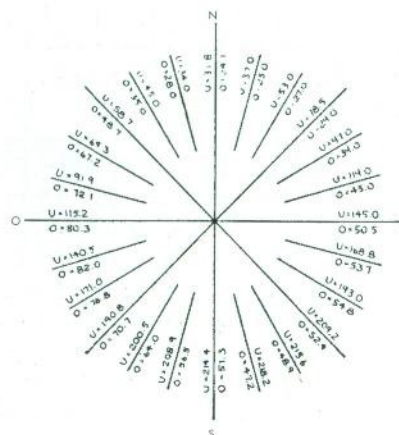
2. En los meses más fríos el máximo de ganancia de radiación proviene de la zona situada al este del eje sur.

(Radiación total solar en el período frío —radiación media recibida, en el período frío, en una superficie vertical respecto a todas las orientaciones).



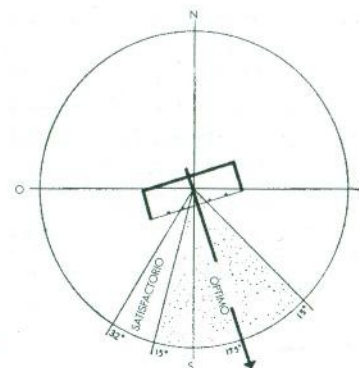
3. En los meses más calurosos, cuando el calor del sol es desfavorable, el mayor incremento proviene de una orientación situada muy al oeste del sur.

(Total de radiación solar en el período cálido —radiación media recibida, en el período caluroso, en una superficie vertical respecto a todas las orientaciones).

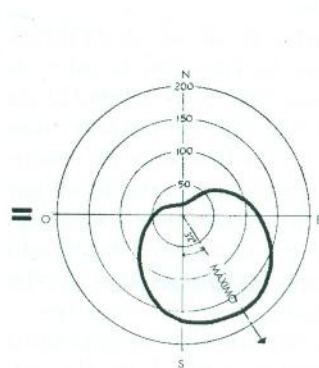


4. Compás de medición del total de radiación de ambos períodos: bajas y altas temperaturas.

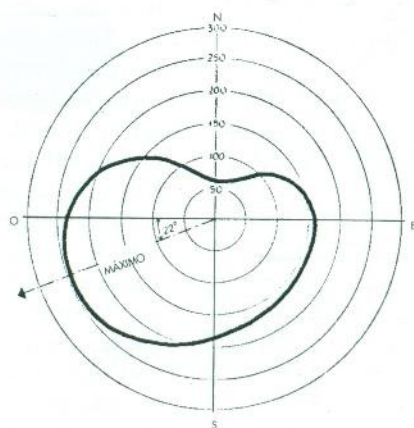
(U corresponde a bajas temperaturas; O corresponde a altas temperaturas).



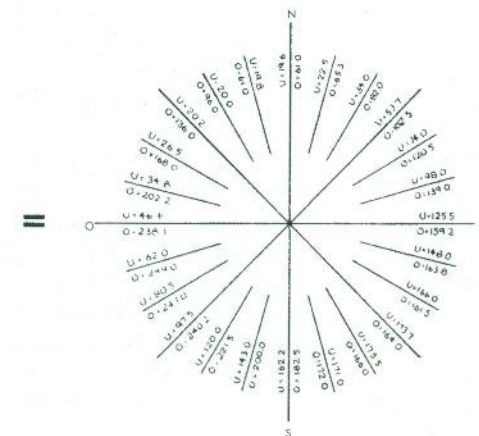
5. En este caso la medición es fácil ya que la peor orientación del verano y la mejor del invierno forman un ángulo recto. Es una situación ideal.



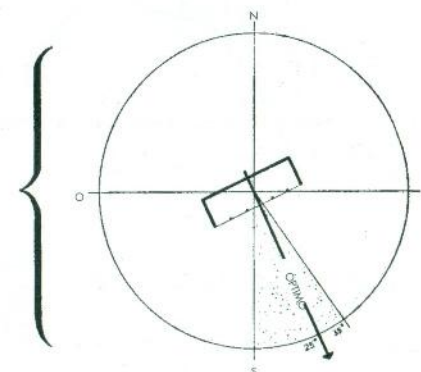
2. Asoleo en el período frío.



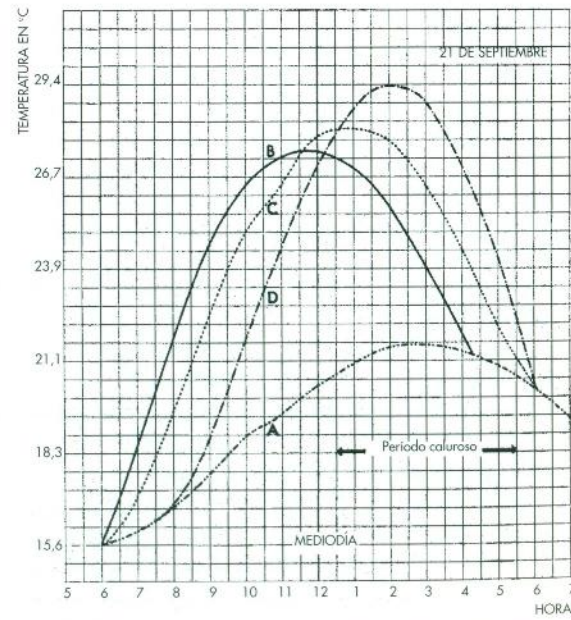
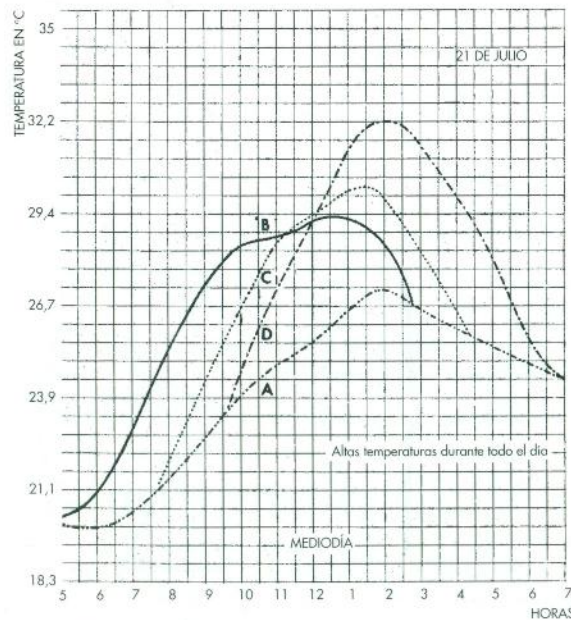
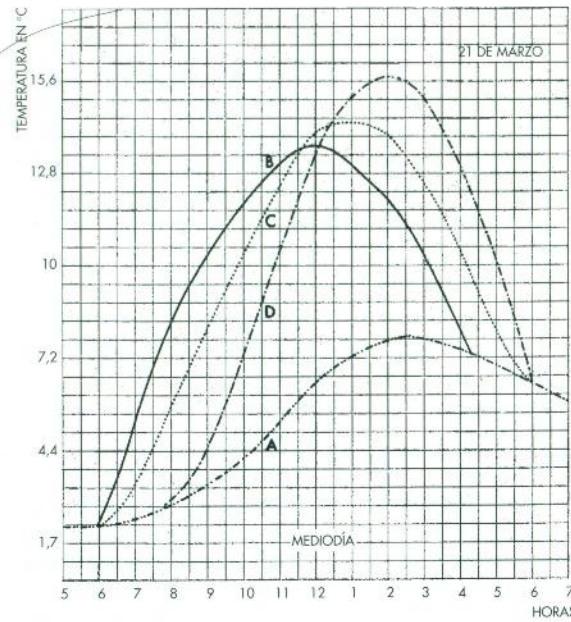
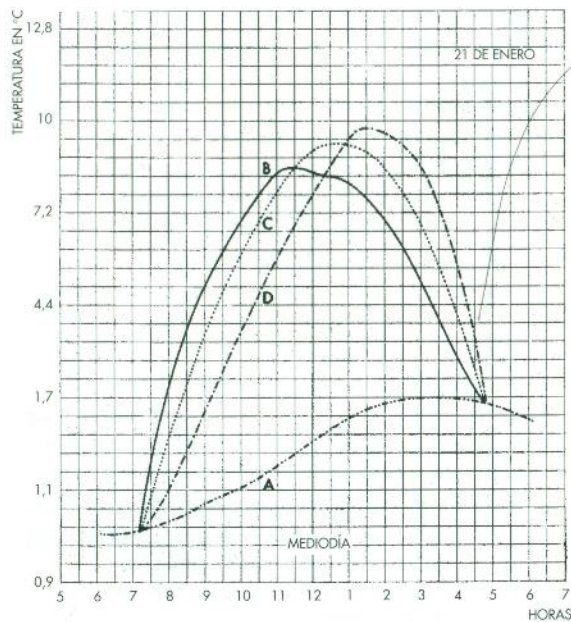
3. Asoleo en período cálido.



4. Asoleo total en períodos de bajas y altas temperaturas.



5. La orientación de óptimo asoleo es 25° al este del sur.



123. Efecto del calor en cuatro días típicos del año. "A" indica el cambio diario de temperatura seca. "B" indica la curva del impacto solar en una superficie vertical orientada 17,5° al este del sur. "C" indica la curva del impacto solar en una superficie orientada a sur. "D" indica la curva de impacto solar en una superficie vertical orientada 25° al oeste del sur.

durante las estaciones frías (R_u) y el menor en épocas calurosas (R_o).

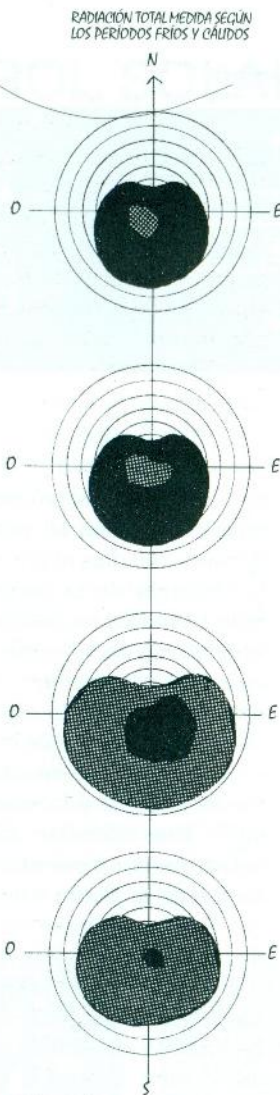
El segundo problema relacionado con la orientación es el equilibrio calorífico diario. En condiciones ideales las temperaturas se encontrarían en la zona de confort y serían constantes durante todo el día. La orientación que pueda satisfacer de forma más apropiada este tipo de requerimientos será la que posea las condiciones más equilibradas.

Estos gráficos ilustran el efecto diario solar y la combinación de temperatura y radiación para el área de Nueva York en las cuatro estaciones y según diferentes orientaciones. En cada caso, la línea base (curva A) representa las variaciones de temperatura seca y las condiciones superpuestas causadas por el calor solar adicional. La curva B muestra el efecto sol-aire para una orientación 17,5° hacia el este del eje sur; la curva C muestra lo mismo para una orientación sur, y la curva D ilustra una orientación 25° hacia el oeste del eje sur.

La curva más simétrica respecto al eje del mediodía denota la distribución más igualada a lo largo de todo el día. Estacionalmente hablando, aquella curva que abarca mayor cantidad de calor durante períodos fríos y menor cuando el aire se torna caluroso, señala una situación más favorable.

Nótese que la curva B (al este de la dirección sur) muestra una distribución de calor similar en todas las estaciones; en verano (21 de julio), cuando el calor es intenso durante todo el día, solamente la curva B descende, mientras que las otras orientaciones continúan ganando radiación. Un muro adquiere mayor valor de radiación si se encuentra orientado hacia el sureste, ya que la radiación se recibe por la mañana, cuando el aire es más fresco. En la curva B, los máximos de temperatura son simétricos respecto a los de radiación, templándose en sus extremos, esta posición puede denominarse como equilibrada. Las gráficas correspondientes a orientaciones sureste en otras regiones climáticas registran situaciones diarias de equilibrio similares.

REGIÓN FRÍA
(MINNEAPOLIS, MINNESOTA)



REGIÓN Templada
(ZONA DE NUEVA YORK - NUEVA JERSEY)

REGIÓN CÁLIDA Y ÁRIDA
(PHOENIX, ARIZONA)

REGIÓN CÁLIDA Y HÚMEDA
(MIAMI, FLORIDA)

124. Gráfico de orientación regional.

APLICACIÓN REGIONAL

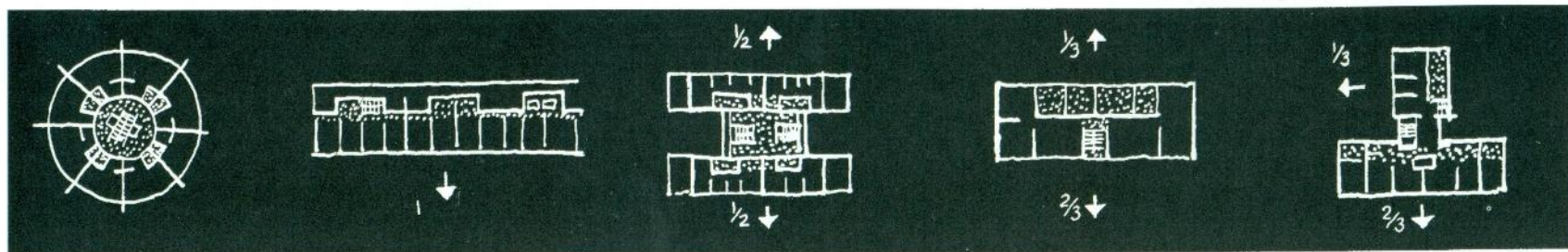
El método de orientación sol-aire se ha aplicado a cuatro zonas climáticas típicas de Estados Unidos. La cantidad total de radiación recibida durante los períodos fríos y cálidos en un año aparece indicada en la columna de la izquierda. En regiones frías y templadas los vectores máximos forman un ángulo recto en-

tre sí, facilitando de esta forma su evaluación. En regiones áridas y cálidas la situación es necesariamente de compromiso. La zona cálida-húmeda requiere una orientación perpendicular al eje del período cálido. Estas posiciones óptimas se muestran en la segunda columna.

En muchos casos, algunas estancias de la vivienda deben orientarse hacia una zona diferente a la óptima. Esto ocurre cuando la tipología edificatoria no es "unilateral", sino que

tiene habitaciones orientadas en diferentes direcciones. La tipología más común es la "bilateral", en la cual las estancias dan a direcciones opuestas; puede ser de dos tipos "delante o detrás" o "delante y detrás" en el caso de que ambos lados pertenezcan a la misma vivienda.

En la tercera columna aparece la tipología bilateral, cuya posición presenta una gran va-



125. Plantas de vivienda con orientaciones específicas.

riedad, tanto en zonas frías como en zonas templadas. A medida que el eje gira hacia el oeste, la distribución del calor en los lados se equipara, aunque el lado oeste recibirá menos luz solar. No obstante, en posiciones que tienden más hacia el este, el lado oeste se encontrará más protegido de la radiación estival. La tipología “delante o detrás” resulta inapropiada para las latitudes más al sur y deben reemplazarse por edificaciones bilaterales del tipo “delante y detrás”.

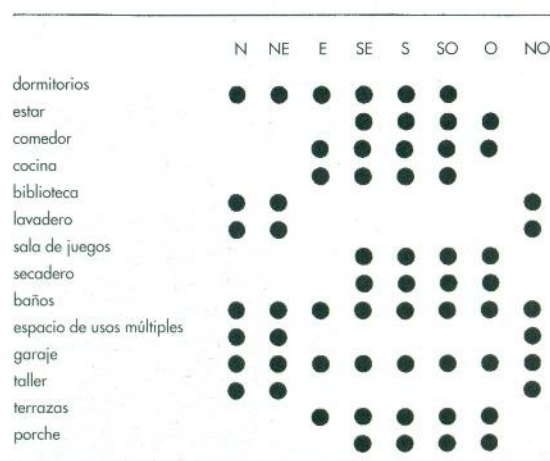
Existen, por supuesto, otras muchas tipologías constructivas, algunas de las cuales mostramos aquí. En estos casos, el lado más importante no aparece directamente, sino que a cada muro debe asignársele una importancia proporcional. Una vez establecida dicha proporción, la orientación óptima podrá evaluarse dibujando una composición de fuerzas. El resultado nos dará la exposición adecuada para los lados más importantes. A partir de estos parámetros podemos deducir que dos edificios con la misma forma, pero con distribución diferente de las habitaciones y de las superficies vidriadas requerirán distintas orientaciones para aprovechar mejor los impactos solares.

Existen numerosas recomendaciones para proyectar la planta de distribución de una vivienda en relación a la exposición de las habitaciones. Como ilustración se muestra una tabla, realizada por Jeffrey E. Aronin¹², que sugiere orientaciones apropiadas para las dife-

rentes estancias de edificaciones residenciales, situadas por encima de los 35° de latitud.

Para asegurar unas condiciones apropiadas en las diferentes estancias de una edificación también es de suma importancia tener en cuenta el tiempo de utilización de las mismas (por ejemplo, las habitaciones en las que se permanece durante el día o los dormitorios), así como el horario de ocupación específica del edificio en cuestión (como es el caso de escuelas, viviendas veraniegas o edificios de oficinas).

Otro factor relacionado con la orientación que debe mencionarse es la denominada acción germicida de la radiación. Debido a este aspecto



126. Orientaciones sugeridas para distintas estancias.

algunos edificios requieren que todas sus habitaciones reciban al menos dos horas de asoleo durante 250 días al año. El Comité de Higiene de la Vivienda de la Asociación Americana de la Salud Pública recomienda que los espacios y la orientación de las edificaciones satisfagan los siguientes parámetros: “Durante el invierno, al menos la mitad del espacio habitable de una vivienda deberá recibir, cuando el sol se encuentra en su máxima intensidad, es decir al mediodía, media hora de penetración directa de la luz solar”¹³. Este estándar, aunque recomendable, no define ninguna orientación, dependiendo únicamente de la planta y de la distribución del edificio. Puede utilizarse, sin embargo, como medida de control para casos específicos.

Por último, es también importante el tratamiento de las superficies expuestas. Si una fachada se encuentra apropiadamente protegida, o bien equipada con elementos que proporcionen sombra (tales como árboles, balcones, etc.), el impacto de la radiación durante los períodos cálidos (R_o), será menos importante que durante los períodos fríos (R_u). Si existen grandes superficies acristaladas, R_o será un factor más decisivo que R_u . De esta forma, la relación entre R_o y R_u dependerá del tratamiento de las fachadas.

En la práctica arquitectónica será necesario un análisis en profundidad con el objeto de encontrar la orientación más favorable para cada diseño en particular.

VII. CONTROL SOLAR

LA ESTRUCTURA

El desarrollo moderno de la planificación y de la construcción arquitectónica ha agudizado el eterno problema del control de la recepción de radiación solar en los edificios. Los masivos muros de carga tradicionales, que combinaban la función de soporte con la de protección contra la luz y el calor, han sido sustituidos por elementos estructurales puntuales que soportan las cargas (a manera de esqueleto) cubiertos por muros cortina (la piel) realizados con diversos materiales.

La piel de un edificio actúa como filtro entre las condiciones externas e internas para controlar la entrada del aire, el calor, el frío, la luz, los ruidos y los olores. En general, se acepta que el muro es capaz de controlar correctamente, por sí mismo, los efectos del aire, la temperatura, el viento y el ruido, mientras que la luz se controla mejor desde el interior, y la radiación calorífica debe detenerse de forma efectiva antes de alcanzar la envolvente del edificio.

Los materiales que conforman la piel de la

edificación juegan un papel decisivo en la utilización y el control de los rayos del sol. Compararemos algunos ejemplos según su actuación como filtros de radiación. El primero es un edificio con una fachada completamente acristalada. En este caso, el cerramiento debe absorber todos los inconvenientes de las variaciones ambientales, teniendo en cuenta la escasa protección de la radiación que proporciona un panel acristalado (alrededor del 12 %).

Un ejemplo diametralmente opuesto lo constituye el muro cortina totalmente opaco. En algunos casos esta piel envuelve completamente al edificio, dejando el interior totalmente aislado y dependiente del acondicionamiento mecánico humano. No hay duda de que esta solución es adecuada en un lugar específico y en una situación peculiar, pero una atmósfera creada artificialmente y aislada por completo de la naturaleza, produce problemas psicológicos conocidos y probables consecuencias negativas desconocidas hasta ahora.

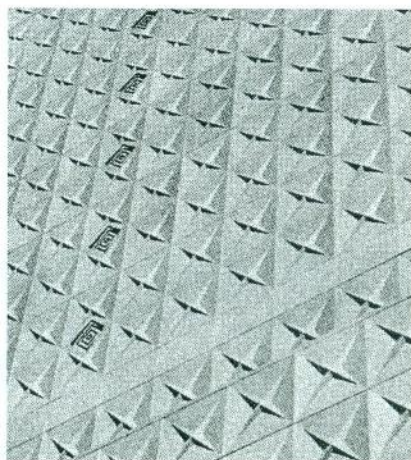
La utilización de vidrios aislantes permite la colocación de grandes superficies de muros

cortina acristalados con una transmisión calorífica inferior a la que puede pasar a través de un vidrio normal. Un tipo de acristalamiento con una cierta coloración y capaz de absorber el calor, intercepta alrededor de un 40 % de la energía radiante. Esta característica representa una aportación considerable para permitir la disminución de la temperatura en verano, pero, por contra, se traduce en una pérdida de calor útil durante el invierno.

El último ejemplo ilustra una solución de control de la radiación utilizando elementos físicos para proporcionar sombra, como son los mecanismos graduables. Este método es de sobras conocido. La interceptación de la energía se produce en el lugar correcto —es decir, antes de incidir en el edificio. De esta forma, la radiación se refleja y disipa hacia el aire exterior. Los mecanismos graduables son los que proporcionan un mejor resultado, ya que al poder adaptarlos al recorrido solar, que varía según las estaciones, es posible conseguir sombra en verano y beneficios caloríficos en invierno. Tanto la localización como la latitud y la orientación contri-



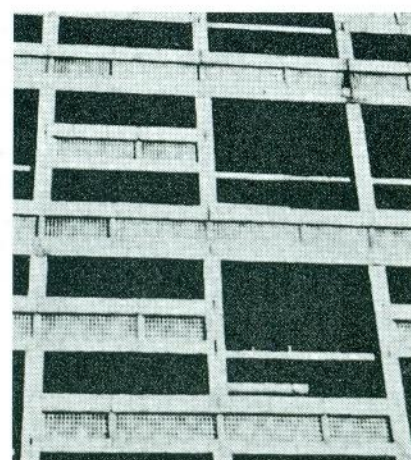
127.



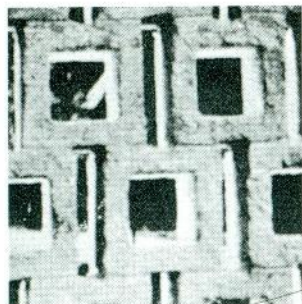
128.



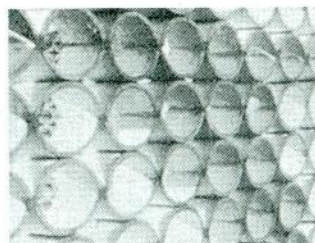
129.



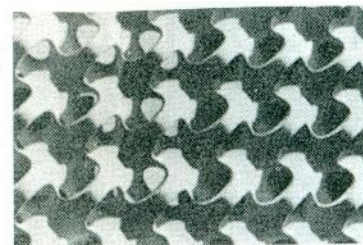
130.



131.



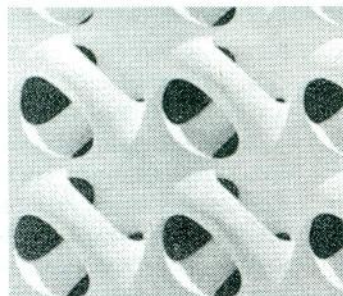
133.



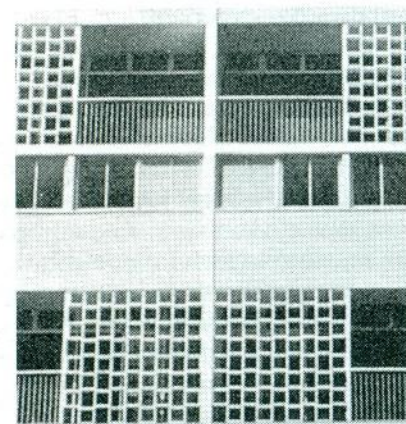
137.



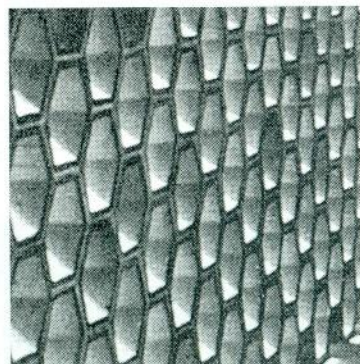
134.



136.



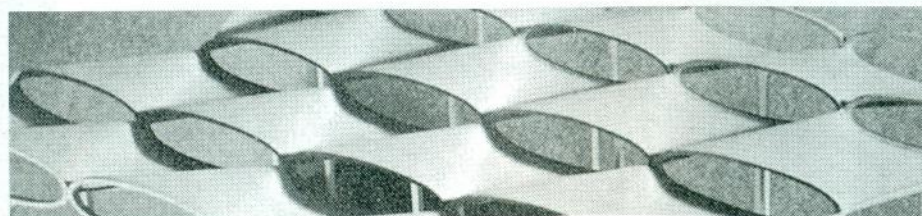
139.



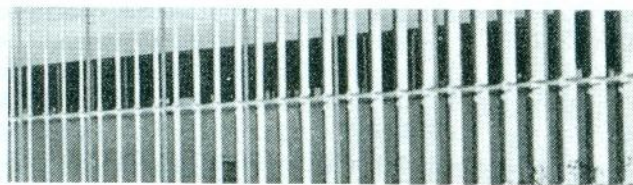
135.



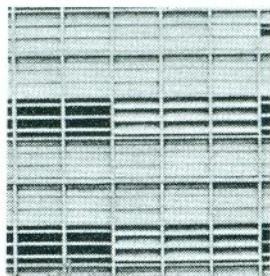
132.



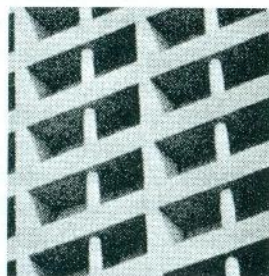
138.



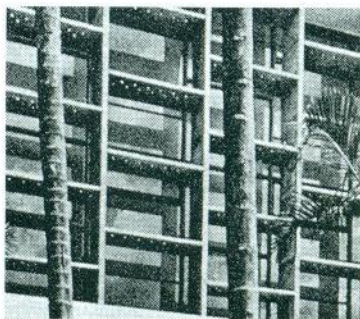
142.



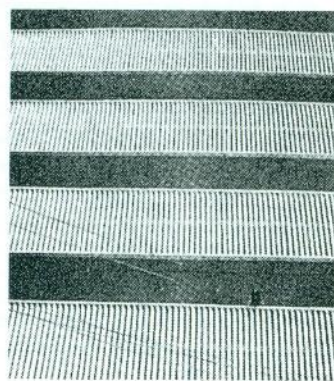
140.



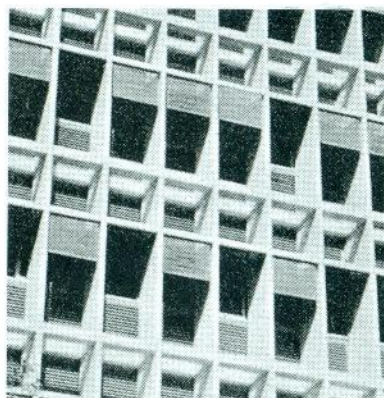
143.



144.



141.



145.



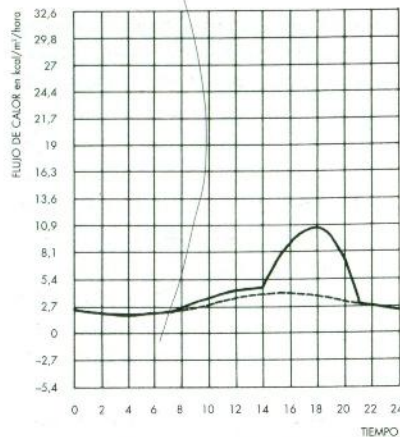
146.

buyen a la definición de un mecanismo efectivo. Además, este tipo de interceptor solar puede crear un fuerte carácter espacial, añadir nuevos elementos al lenguaje arquitectónico y expresar una auténtica conciencia regional.

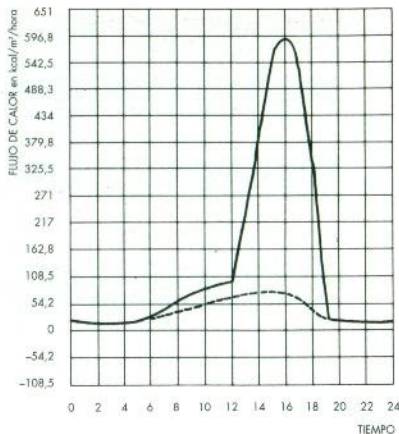
Los elementos que pueden conformar una pantalla entre el hombre y el ambiente natural ofrecen posibilidades muy enriquecedoras para la expresión visual. Muchos elementos solamente sirven para elaborar la superficie, otros invitan a jugar con las luces y las sombras añadiendo la posibilidad de composición espacial, mientras que otros constituyen por sí mismos entidades arquitectónicas. A su aspecto plástico se le añaden componentes visuales tales como ritmo, luz, color y textura.

Los elementos mostrados aquí son independientes de su escala real y lo que interesa son únicamente las relaciones geométricas de sus directrices. Desde el punto de vista compositivo este tipo de pantallas ofrece una amplia y variada gama de ejemplos. Esta diversidad no es accidental. Generalmente, su carácter es representativo, ya que los patrones dominantes están diseñados de acuerdo con sus usos específicos.

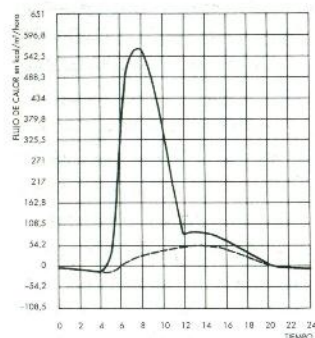
Algunos ejemplos permiten el movimiento del aire a su través (fig. 131), y proporcionan sombra con mayor (fig. 132) o menor (fig. 133) privacidad. Otros emplean el viento para refrescar el muro a la vez que lo protegen proporcionándole sombras (fig. 134). Los elementos de composición pueden ser geométricos (fig. 135) o presentar un juego de claroscuros con la luz (figs. 136 y 137). Puede ser horizontal (fig. 138) utilizando de forma ingeniosa los sistemas constructivos espaciales. Los elementos practicables de las fachadas, en combinación con profundos balcones (fig. 139), proporcionan ricas texturas. Los elementos horizontales pueden tener un carácter más opaco (fig 140), un efecto de sombra similar puede conseguirse con balcones ligeros (fig. 141). Algunas orientaciones exigen la colocación de elementos verticales con lamas móviles (fig. 142) o fijas (fig. 143), que son el tema dominante de la fachada. En ciertas situaciones es posible proporcionar



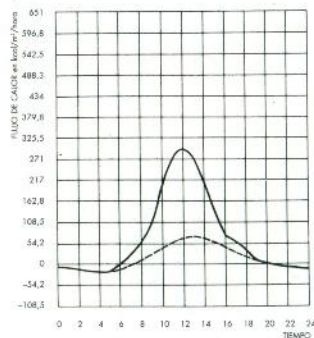
147. Transmisión calorífica de una pared de madera.



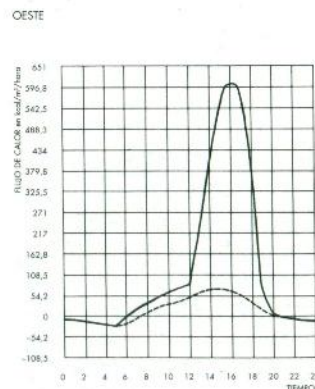
148. Transmisión calorífica de un panel de vidrio.



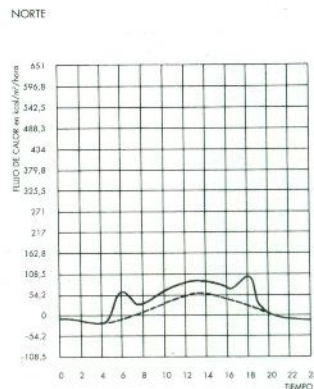
ESTE



SUR



OESTE



NORTE

66 149. Transmisión calorífica de superficies de vidrio con diferentes exposiciones.

el aislamiento necesario para contrarrestar los efectos del sol con una piel protectora o pantalla anterior tipo panel de abejas que intercepte la radiación antes de que ésta llegue a la fachada de vidrio (fig. 144), o bien diseñando el panel de fachada con dos pieles (figs. 145, 146).

Los motivos de la composición pueden variar, pero siempre estarán subordinados a modelos regionales definidos a partir de la intensidad y de los ángulos de incidencia del sol.

TRANSMISIÓN DE CALOR Y DE RADIACIÓN

Establecer una comparación entre un muro macizo y una pared de vidrio, como transmisores de radiación, resultaría desequilibrada ya que una de las superficies es opaca y la otra transparente. Es más realista comparar su comportamiento térmico cuando actúan como barreras de calor. Con este objeto se han realizado cálculos periódicos del flujo de calor, integrando los efectos producidos por la convección, la conducción y la radiación.

Para establecer dicha comparación se ha escogido un día medio de verano y despejado (21 de julio). Ambas superficies están orientadas al oeste. El primer gráfico muestra la transmisión de calor de una pared realizada con paneles aislantes de madera y con una ligera capa de pintura. El otro gráfico muestra la transmisión de calor de un panel realizado con una sola lámina de vidrio. La transmisión total de calor diaria de la pared maciza (línea continua) alcanza las 108,5 kcal/m² y en sombra, las 73,2 kcal/m² (línea de puntos). La transmisión total de calor diaria del panel vidriado asciende a 3328,4 kcal/m² a pleno sol y a 939 kcal/m² en sombra. En este caso, el vidrio es 30 veces más vulnerable a los efectos solares que la pared opaca. No obstante, proporcionando sombra al cristal, es posible reducir en un tercio el impacto calorífico. Es evidente que estos índices de vulnerabilidad varían según la latitud, la orientación, la época del año y otros condicionantes.

La radiación directa transmitida varía de acuerdo con el ángulo de incidencia de los rayos, manteniéndose estable hasta aproximadamente los 50° y cayendo bruscamente después de los 60°. Los datos para un vano de pared con un solo cristal (con 0,90 de coeficiente de transmisión para una incidencia normal), y para una ventana con doble cristal ($T_n = 0,81$) son los siguientes:¹

Ángulo de incidencia	Ventana cristal sencillo	Ventana doble cristal
0°	0,90	0,81
20°	0,90	0,81
40°	0,89	0,80
50°	0,87	0,77
60°	0,82	0,71
70°	0,77	0,59
80°	0,44	0,29
90°	0,00	0,00

La transmisión de la radiación difusa es independiente de la posición del sol (para un vidrio sencillo 0,82 y para una ventana con doble vidrio 0,72).

Como resumen de la transmisión de calor mostramos varias tablas que ilustran el efecto de este flujo en cuatro superficies acristaladas y diferentemente orientadas, durante un día despejado de verano (21 de julio) en el área de Nueva York. La cantidad total diaria de kcal que fluyen a través de 1 m² de superficie acristalada con un solo vidrio es la siguiente:

	Soleado	En sombra
Este	2962	362
Sur	1630	373
Oeste	2962	362
Norte	823	332

Los totales muestran variaciones acentuadas según la orientación, con diferencias más importantes en las que se encuentran orientadas hacia el este y hacia el oeste. Según la media, los mecanismos protectores reducen la carga solar a una quinta parte, lo cual proporciona un ahorro muy apreciable.

MÉTODOS DE PROTECCIÓN PARA SUPERFICIES ACRISTALADAS

El objetivo de este capítulo consiste en evaluar los métodos de protección que proporcionan los elementos externos que producen sombra y describir su método de cálculo. Para poder escoger dichos elementos y valorar su efectividad desde una perspectiva adecuada, mostramos aquí un estudio acerca de la efectividad de varias aplicaciones posibles*:

Para comparar la protección solar efectiva de los diferentes métodos se ha utilizado como unidad de medida el "coeficiente de sombra". El coeficiente de sombra es el índice de la ganancia total de calor procedente de la energía transmitida, absorbida y nuevamente radiada por una combinación de sombra y cristal, comparada con la ganancia total de calor procedente de la energía transmitida, absorbida y nuevamente radiada por una ventana de cristal sencilla y expuesta al sol.

Para valorar el coeficiente de sombra, el porcentaje de la radiación transmitida por la combinación sombra-cristal se ha equiparado a un valor de 1,00 como índice básico para una ventana expuesta al sol, con un cristal extrafuerte.

Debido a que la posición del sol en el cielo y, por tanto, su relación con la superficie a tratar cambia constantemente, la proporción de energía solar incidente varía de acuerdo con la orientación y la hora del día, así como también lo hace la transmisión calorífica de los elementos protectores. No obstante, para la utilización de la comparación evaluativa, despreciaremos estas variaciones.²

Debido a que los numerosos sistemas que existen para conseguir sombra deberán estar relacionados en un mismo índice, se han tenido que efectuar las siguientes adaptaciones:

Como valor de transmisión se ha tomado el que resulta de un ángulo normal de inciden-

cia sobre una superficie plana que proporciona sombra (por ejemplo vidrio tintado, cristal laminado o pintado). Esta valoración toma en cuenta aquellos materiales que, en cierta forma, se encuentran en desventaja, dentro de las diferentes categorías. Las designaciones "luminoso" y "oscuro" se refieren a materiales con al menos 50 % y 20 % de transmisión luminosa, respectivamente.

Asumiendo que los mecanismos de protección están colocados de forma que puedan interceptar los rayos directos del sol, los valores adoptados para estas zonas de sombra están basados en los efectos que se producen en las diferentes orientaciones.³

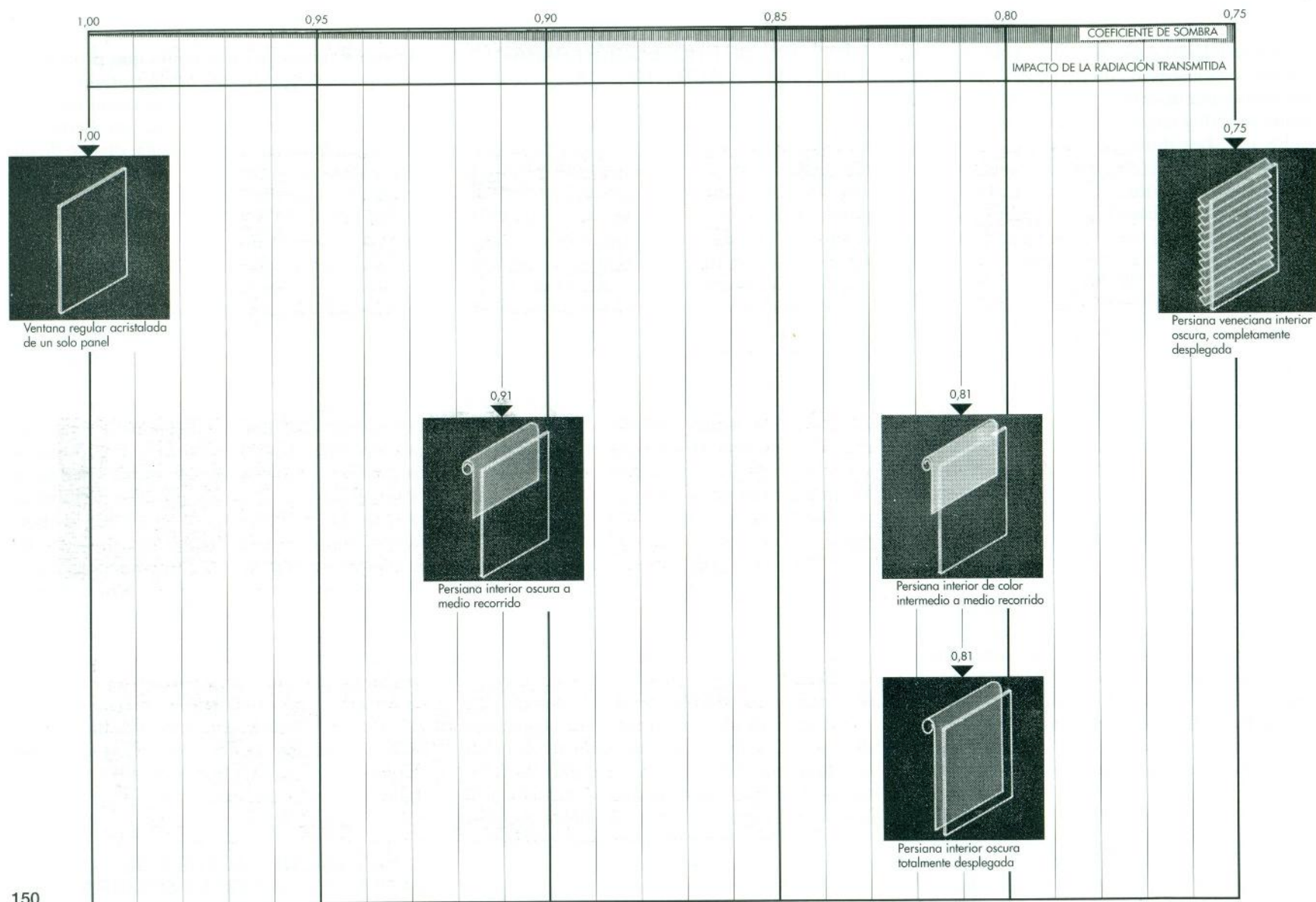
Los valores para las pantallas que producen sombra se han calculado para todas las orientaciones, basándose en su comportamiento medio. Los datos de los muros cortina se han calculado a partir de un peso de fabricación de 233 a 298 gr/m².⁴ Para definir la aportación de la vegetación (como los árboles) se ha asumido que ésta se encuentra colocada estratégicamente para impedir la incidencia directa de los rayos del sol en las ventanas.⁵ Los valores adoptados para los elementos fijos que producen sombra están basados en la transmisión media diaria de un elemento de diseño efectivo en relación a las orientaciones mencionadas.

Debido al número de variables implicadas en el cálculo, los coeficientes deben ser considerados como valores aproximados y se deben aplicar con una interpretación.

CONCLUSIONES ACERCA DE LA EFECTIVIDAD DE LA SOMBRA

El efecto de protección solar en superficies acristaladas depende de varios factores: de la reflexión de la radiación solar en el material aplicado y su capa coloreada (A), de la localización de dicha protección que ejerce su influencia sobre los impactos de radiación y convección calorífica (B), y de la distribución específica del método aplicado para producir

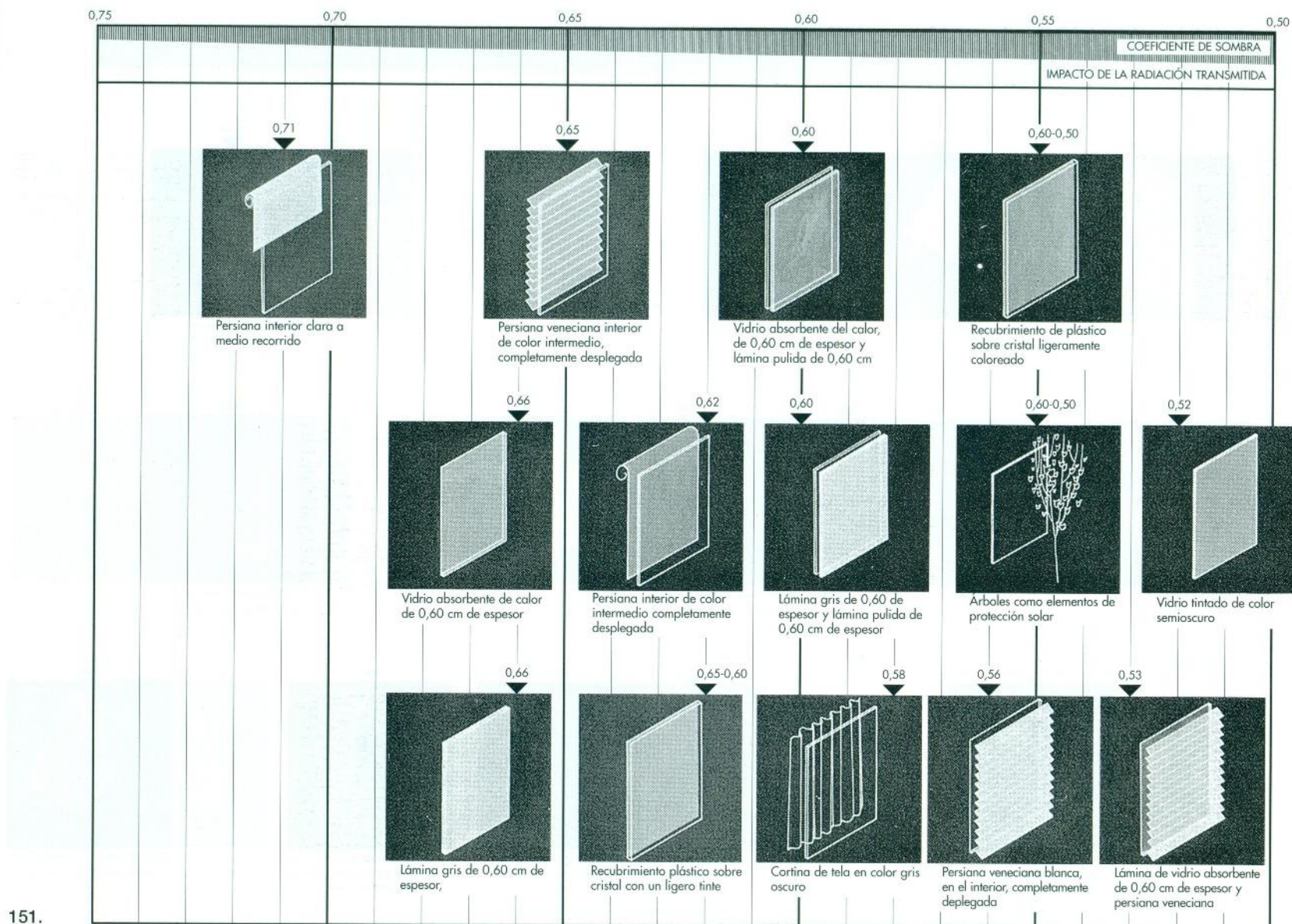
* Esta sección ha sido desarrollada por el Laboratorio Educacional de la Fundación Ford, y publicada con su permiso.



sombra (C). Debido a la interrelación existente entre estos factores, es difícil separar sus influencias; sin embargo, es posible generalizar ciertas conclusiones acerca de sus efectos.

impacto del sol, mientras que los oscuros lo absorben. La apreciación visual da una medida aproximada de la relación entre el color y su valor de absorción. Los datos de los materiales superficiales más comunes son (en relación con este tema existe una lista más detallada en el capítulo X):

Superficie	Porcentaje de reflexión de radiación solar
Aluminio pulido	85
Pintura blanca	71
Pintura verde clara	50
Pintura gris	25
Pintura negra mate	3



151.

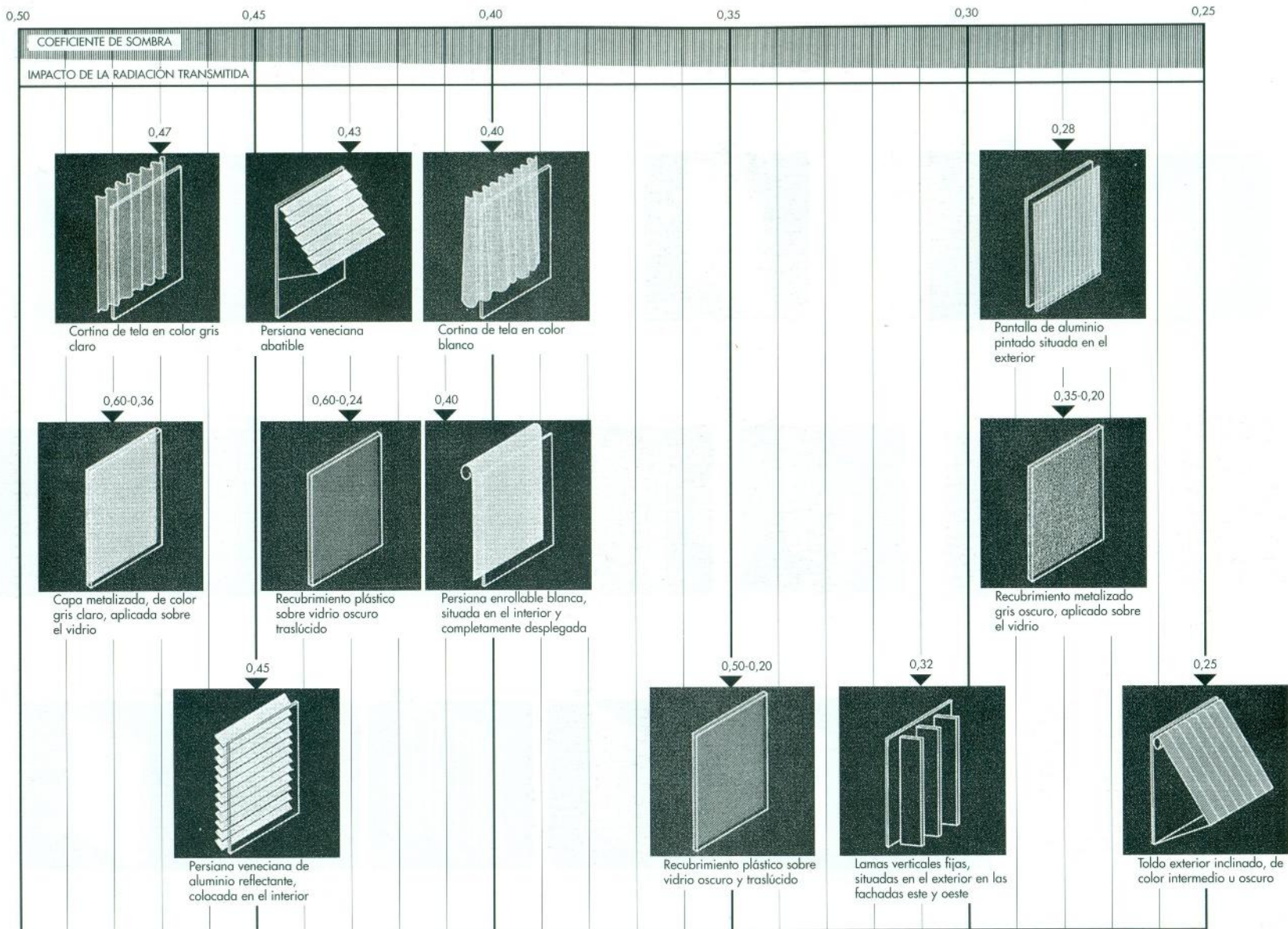
Comparando los diferentes sistemas de producción de sombra, el efecto del color indica:

	Oscura	Media	Clara	Aluminio
Persiana veneciana	0,75	0,65	0,56	0,45
Persiana enrollable	0,81	0,62	0,41	
Cortina	0,58	0,47	0,40	

Las figuras muestran que el color blanco en las persianas venecianas proporciona un 20 % más de protección que las de un color oscuro; y que el aluminio ofrece una protección adicional del 10 %. En las persianas enrollables el efecto es más pronunciado, las de color blanco o claro proporcionan un 40 % más de protección que las

de color oscuro. En el caso de cortinas interiores, la diferencia no es tan acusada, las de color claro son un 18 % más efectivas que las oscuras.

B. SITUACIÓN DE LA PROTECCIÓN SOLAR. Los elementos de protección solar interiores interceptan la energía solar una vez que ya ha traspasado la



152.

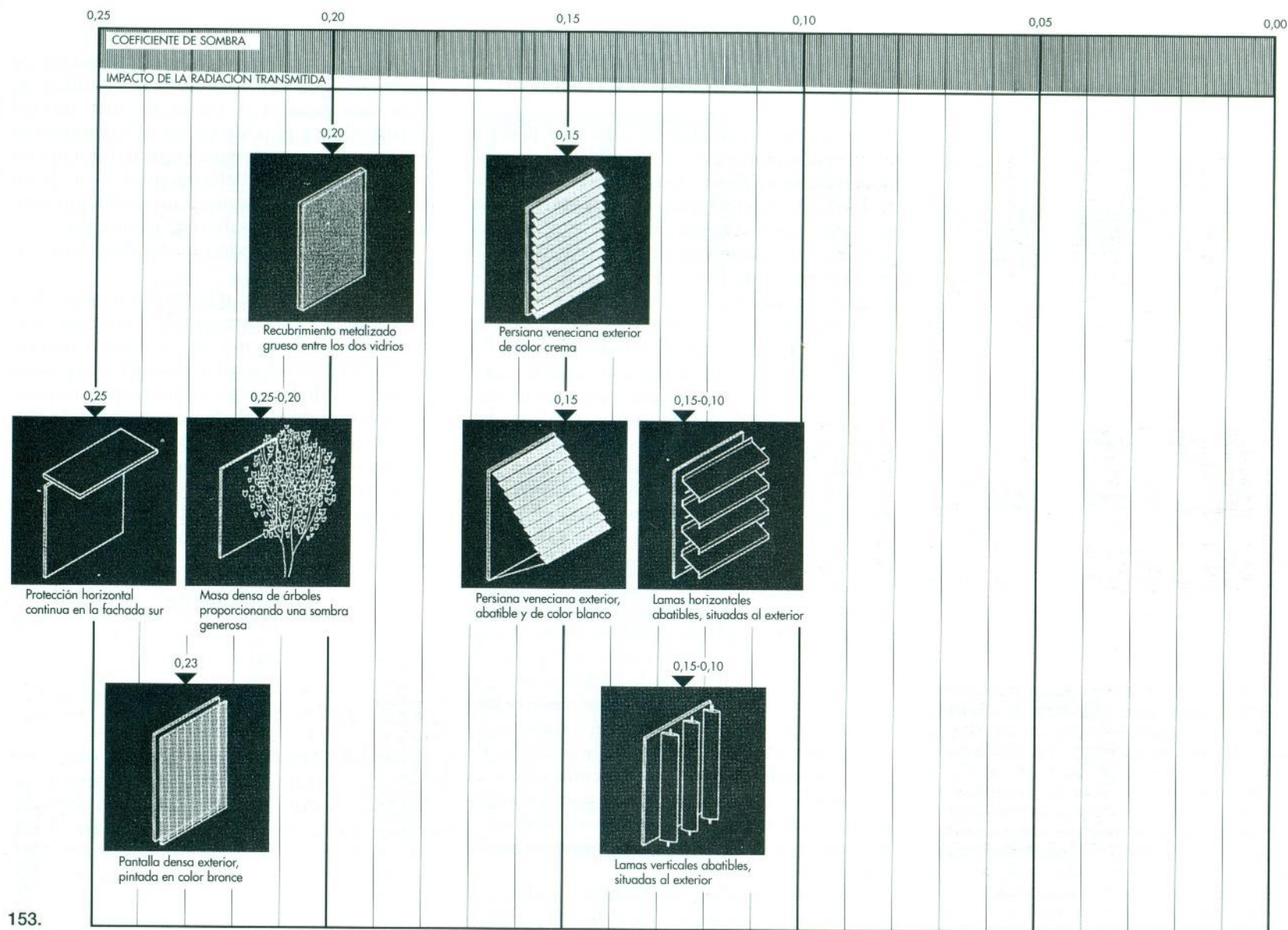
superficie acristalada, pueden eliminar sólo la porción de energía radiante que puede reflejarse y pasar a través del vidrio nuevamente. La otra parte es absorbida y, por convección o irradiación, dirigida al interior de la habitación.

Si la intercepción se produce en la superficie acristalada, parte de la energía se refleja

rá, parte será transmitida y parte absorbida. La porción absorbida se transmitirá por convección y por irradiación tanto hacia el exterior como hacia el interior de la habitación.

Los elementos externos de protección transmiten al aire exterior su porción de energía por convección y reirradiación.

Partiendo de lo expuesto anteriormente, podemos deducir que el nivel de protección solar depende de la localización de la barrera protectora y que su efectividad aumenta según se sitúe por detrás, en o delante de la superficie acristalada, en este orden.



Por ejemplo:

En la cara interior del vidrio
En la cara exterior del vidrio

Persianas metálicas venecianas	Pantalla de lona
0,45	0,62
0,15	0,25

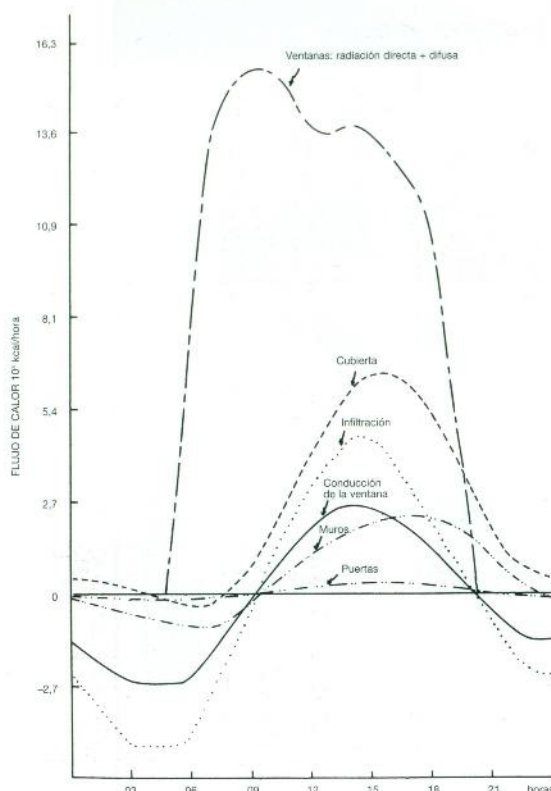
En general podemos concluir que la protección solar en el exterior incrementa la efectividad en un 35 %.

C. EFICACIA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS PARA PROPORCIONAR SOMBRA. Para poder clasificar los métodos de protección solar según categorías, es necesario adoptar algunos valores medida (por ejemplo, color medio o 50 % de transmisión de iluminación). Así, el orden de eficacia sería:

Persiana veneciana
Persiana enrollable
Cristal tintado
Cortina aislante
Pantalla de sombra
Persiana ext. lamas metál.

Capa protectora sobre superficie acristalada
Árboles
Protección externa
Protección fija exterior
Protección móvil exterior

Los gráficos ilustran diferentes elementos de protección según sus coeficientes de sombra.



154. En esta figura se muestran los resultados del análisis del flujo calorífico cuando pasa a través de los diferentes componentes de una edificación residencial de una sola planta.⁵¹ Como ejemplo, se ha escogido una casa de construcción económica, convencional y emplazada en la zona de Nueva York-Nueva Jersey. En este tipo de clima, la importancia de la calefacción durante el período frío limitó la selección de los materiales de los muros y de la cubierta a aquellos que presentan un nivel de conductividad calorífica bajo. Por lo tanto los muros del edificio están formados por un acabado exterior de madera, adosado a un panel aislante de lana mineral y de 5 cm de espesor, y a continuación otro panel de yeso de 0,95 cm de espesor, como acabado interior. La cubierta está realizada con losetas (tejas) de asfalto (absorción de la radiación solar = 0,7), fijadas a la cubierta de madera. El falso techo también tiene su capa de aislamiento, de 7,6 cm de espesor. Las ventanas son de vidrio ordinario (tipo B) con una transmisión de radiación solar de 0,77 para una incidencia normal a la superficie, detrás de dichos cristales se suponen elementos de protección de color oscuro y semi-desplegados. Las áreas totales efectivas de esta casa son: muros: 866 m²; cubierta: 768 m²; ventanas: 139 m²; y puertas: 3,5 m².

ECONOMÍA EN LA APLICACIÓN DE MECANISMOS PROTECTORES

Al comparar la cantidad de calor que penetra en un edificio a través de sus diferentes componentes, se evidencia la importancia del control solar. Es posible trazar curvas que ilustran las variaciones diurnas del flujo del calor al traspasar los diferentes elementos de un edificio orientados de forma diferente. El calor total puede calcularse haciendo una suma de los productos de los coeficientes de transmisión de los elementos de cada superficie afectada. En el gráfico se muestran los flujos totales de calor que pasan a través de los componentes de una vivienda estándar, construida en madera, durante un día medio de verano, en el mes de julio y en el área de Nueva York-Nueva Jersey.

Puede apreciarse claramente la importancia de los componentes en relación con los incrementos desfavorables de calor. Las ventanas son el elemento que permite la mayor entrada de calor en el edificio, por lo tanto, proporcionándoles sombra aumentaremos la protección. El segundo elemento en importancia es la cubierta, seguido de la infiltración y de la conducción a través de las ventanas. Los muros y las superficies verticales opacas juegan un papel menos importante, a menos que no se encuentren adecuadamente aislados. Es bien conocido que una integración adecuada de todos los componentes dará como resultado un espacio "climáticamente equilibrado", lo cual enfatiza aún más la importancia del control solar.

Esta importancia cambiará, naturalmente, en relación con el tamaño y el tipo de edificación. Es necesario, por lo tanto, realizar un análisis específico para cada problema. Desde otro punto de vista, podemos comparar el coste del aire acondicionado en un edificio expuesto a la radiación sin protección, con el de uno que sí está protegido, añadiéndole posteriormente el coste de los elementos proporcionadores de sombra. Esta comparación mostrará el balance económico entre una opción u otra.

En la fase de proyecto, este proceso puede invertirse. Una vez conocidos la cantidad de calor que penetra a través de una unidad de superficie y el coste de acondicionamiento mecánico necesario para contrarrestar dicha cantidad, es posible determinar el coste de un elemento que representará una solución ventajosa desde el punto de vista económico.

De esta forma podremos establecer un criterio de diseño:

Una tonelada de refrigeración equivale a 3024 kcal/h. Esto corresponde a la carga calorífica que puede incidir en 9,3 metros cuadrados de paredes orientadas hacia el este y hacia el oeste. Si dicha carga se intercepta, es posible ahorrar una tonelada de capacidad de aire acondicionado por cada 9,3 m² de muro.

En el área de Nueva York, un panel superficial constituido por un solo vidrio transmitirá, en un día despejado (21 de julio), hacia el interior del edificio, una radiación directa en kcal/m²:

	ORIENTACIÓN		
	Este	Sur	Oeste
5 a.m.	62	...	...
6 a.m.	342	...	...
7 a.m.	480	...	...
8 a.m.	502	5,4	...
9 a.m.	434	51,5	...
10 a.m.	293	122	...
11 a.m.	117	157	...
12 m.	...	195	...
1 p.m.	...	157	117
2 p.m.	...	119	293
3 p.m.	...	52	434
4 p.m.	...	5,4	502
5 p.m.	...	...	480
6 p.m.	...	...	342
7 p.m.	...	...	62

El coste del aire acondicionado puede estimarse de la forma siguiente:

A. Coste de la instalación, donde el precio de 1 kcal de aire acondicionado varía entre los 19 \$ y los 28 \$*.

B. Coste operativo, que alcanza aproximadamente el 5 % anual del coste de la instalación.

La transformación de la entrada de calor instantáneo en carga de frío es todavía una incógnita. Se ha comprobado que, debido al efecto acumulativo, no todas las puntas de calor que afectan una estructura se corresponden instantánea y simultáneamente con las puntas de carga frigorífica. Algunos expertos consideran como puntas de carga frigorífica el promedio de las tres horas de máximo calor; otros toman el 70 % de las puntas de calor total. Siguiendo esta metodología, y tomando sus valores medios, se ha podido determinar la punta de carga frigorífica producida por la radiación directa del sol en el área de Nueva York:

	Este	Sur	Oeste
Carga frigorífica en kcal/m ²	426	155	426

Las figuras adjuntas no incluyen la radiación difusa, que será interrumpida parcialmente por el mecanismo protector.

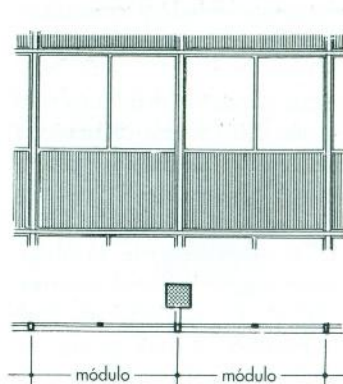
Si se calcula el coste de la instalación y se le añaden dos años de coste de funcionamiento, es posible estimar los ahorros en aire acondicionado producidos por un mecanismo protector:

	Este	Sur	Oeste
Possible ahorro por m ² de área de ventana	92,50-111,82 \$	32,25-40,86 \$	92,47-111,83 \$*

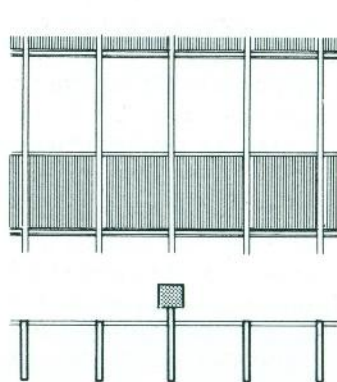
Partiendo de estos datos, es posible establecer un criterio proyectual: un elemento protector diseñado de forma adecuada será económicamente equivalente si su coste se encuentra dentro de los límites señalados en la tabla anterior. Si su coste es inferior, representará un ahorro de dinero. En la práctica, el coste de este tipo de elementos es generalmente inferior a los que aparecen en la figura.

En los esquemas se muestran de forma esquemática diferentes tipos de mecanismo. El primero (A) nos muestra un módulo de muro cortina sin ninguna protección, a efectos compa-

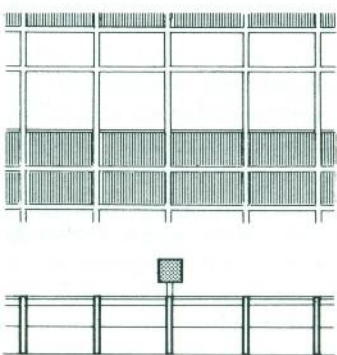
A MURO CORTINA



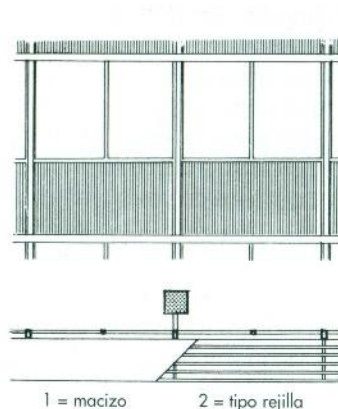
C BRISE-SOLEIL VERTICAL



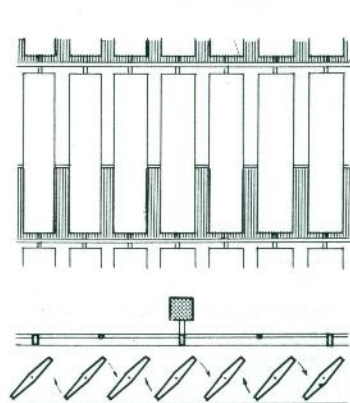
E PROTECCIÓN MODULAR FIJA



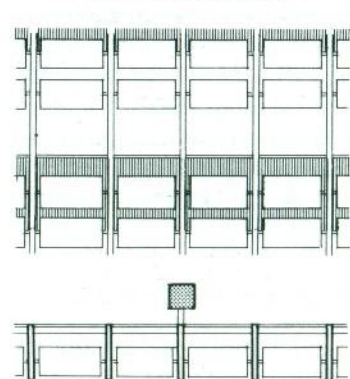
B BRISE-SOLEIL HORIZONTAL



D LÁMINAS VERTICALES MÓVILES



F PROTECCIÓN MODULAR MÓVIL



* N. del T.: Hay que tener en cuenta que los precios que se citan en esta página y en las siguientes son del año 1957.

rativos solamente, mientras que desde el B hasta el F sí se ilustran diferentes ejemplos de protección. El coste de un muro cortina tipo A difiere según su tipología; si se trata de un muro completamente cerrado o si tiene ventanas practicables. El coste del tipo fijo varia entre los 37,60 \$ y los 48,40 \$* por m², mientras que el mismo tipo, pero con piezas de ventilación de posible abertura, puede costar entre 48,40 \$ y 75,30 \$* por m². El coste adicional de un elemento protector horizontal macizo (B.1) supone de unos 23,60 \$ a 28 \$* por m² de superficie de ventana; mientras que si está realizado con perfiles o lamas (B.2) este suplemento puede situarse entre los 38,70 \$ y los 49,50 \$*. El coste de un elemento fijo vertical varia entre los 47,30 \$ y los 64,50 \$*, y, si fuese móvil, (D) entre los 86 \$ y los 107,50 \$* por m² de superficie de ventana.

Las pantallas con protección modular cuestan entre 70,00 \$ y 91,40 \$* si son fijas como en (E) y, si són móviles, como en (F), su coste alcanza entre 86 \$ y 113 \$* por m² de superficie de ventana.

Los protectores horizontales son eficaces en las orientaciones sur, mientras que los otros tipos trabajan mejor hacia el este o el oeste donde, a veces, es conveniente colocar los modelos móviles que representan un mayor coste.

Es evidente que los mecanismos protectores no deben estar diseñados únicamente teniendo en cuenta su coste o su esmerado diseño, sino que deben cumplir bien su cometido. Distintas orientaciones producen un diferente impacto calorífico y su compensación afectará tanto al coste del acondicionamiento mecánico como al diseño del elemento protector.

Un cuidadoso proyecto arquitectónico, al tiempo que considerará el coste de una refrigeración mecánica y de los elementos protectores, incluirá también:

1. El diseño y la distribución de todas las plantas, y la determinación de la orientación de las fachadas.
2. El tamaño y la distribución de las aberturas, las cuales determinarán la transmisión de calor de las fachadas.

3. El diseño adecuado de los elementos protectores, que resultará correcto económicamente sólo si trabajan de forma eficaz.

Deben añadirse algunos aspectos prácticos a lo expuesto anteriormente. En un día caluroso y sin viento los elementos exteriores de protección pueden conducir calor hacia la estructura, especialmente si están realizados con materiales poco acabados. De la misma forma, también pueden, en días fríos, extraer el calor de los muros, como si se tratara de un radiador de frío. Esto puede evitarse aislando dichas protecciones en relación al edificio. La solución más simple consiste en anclar únicamente estos ele-

mentos en aquellos puntos donde sea estrictamente necesario, dejando una cámara de aire entre ellos. Esta abertura sirve también como salida de escape para las bolsas de aire caliente que quedan almacenadas.

Una consideración adicional que hay que tener en cuenta es el problema del hielo y la nieve. En lugares situados en altas latitudes y cuyas fachadas dan a calles y espacios públicos, esto puede representar un peligro. Es posible resolver este problema, proyectando amplios aleros que protejan la fachada. El problema del mantenimiento está siempre presente, con o sin elementos protectores; una vez más, un cuidadoso proyecto de los elementos facilitará su resolución.

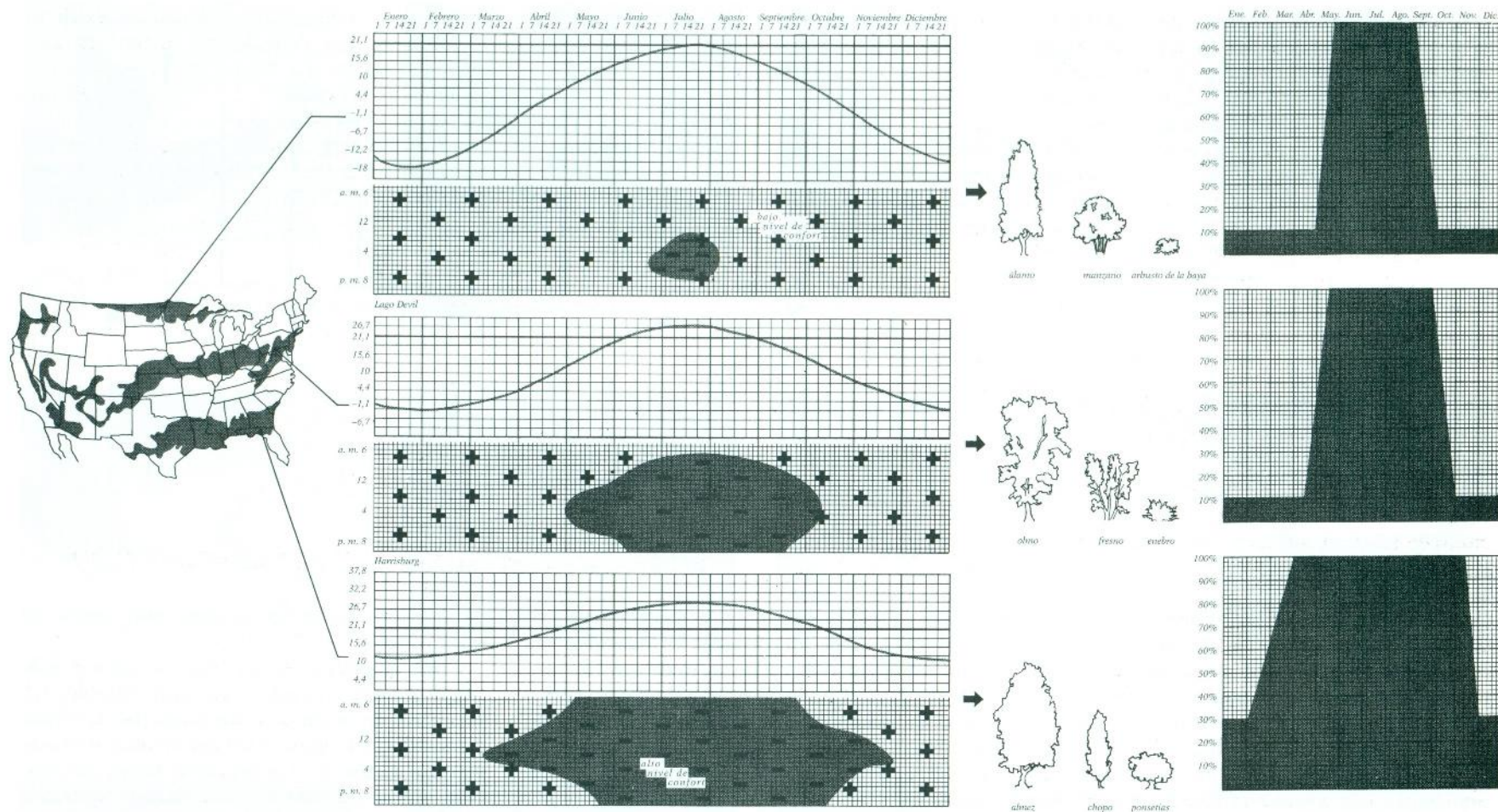
EFFECTOS DE LA SOMBRA PRODUCIDA POR LOS ÁRBOLES Y LA VEGETACIÓN

La vieja costumbre de rodear la casa con hermosos árboles tiene unas raíces más profundas que el puro deseo de disfrutar de la variedad estética de la naturaleza. Además de satisfacer la necesidad instintiva de protección, los árboles contribuyen a la mejora del ambiente físico inmediato. Si se plantan densamente reducen con gran eficacia los sonidos ambientales. La superficie viscosa de las hojas de las plantas capturan el polvo y filtran el aire. Asimismo, la vegetación asegura la privacidad visual y disminuye los efectos del deslumbramiento.

Un aspecto especialmente beneficioso de los árboles es su efecto térmico. Durante el invierno las pantallas formadas por arbolado perenne reducen las pérdidas de calor de los edificios e impiden la acumulación de nieve. En verano, la superficie del césped y las hojas absorben la radiación, y su proceso de evaporación puede enfriar la temperatura del aire. Pero, por encima de todo, los árboles proporcionan una sombra generosa en la estación adecuada. Esta caracterís-

tica convierte a los árboles de hoja caduca en especialmente apreciados cuando se encuentran situados cerca de los edificios, ya que una de las condiciones necesarias para el control solar es la de no interferir la radiación solar durante el invierno. Las parras constituyen otro elemento de control natural del calor, refrescando el aire a través de la evaporación y proporcionando sombra. Al crecer apoyada en una pared donde incide el sol, la parra representa una protección muy valiosa durante el tiempo caluroso.

Así pues, disponer de árboles o vegetación representa, tanto por su aspecto, como por la sombra que proporcionan, una buena elección. (Claro está que deben revisarse las condiciones climáticas de la zona y las del terreno en cuestión.) Es muy importante decidir correctamente cual es el tipo de árbol a utilizar. Para ello tendremos en cuenta dos cosas: la forma y las características del árbol, tanto en verano como en invierno, así como también su papel de protector natural.



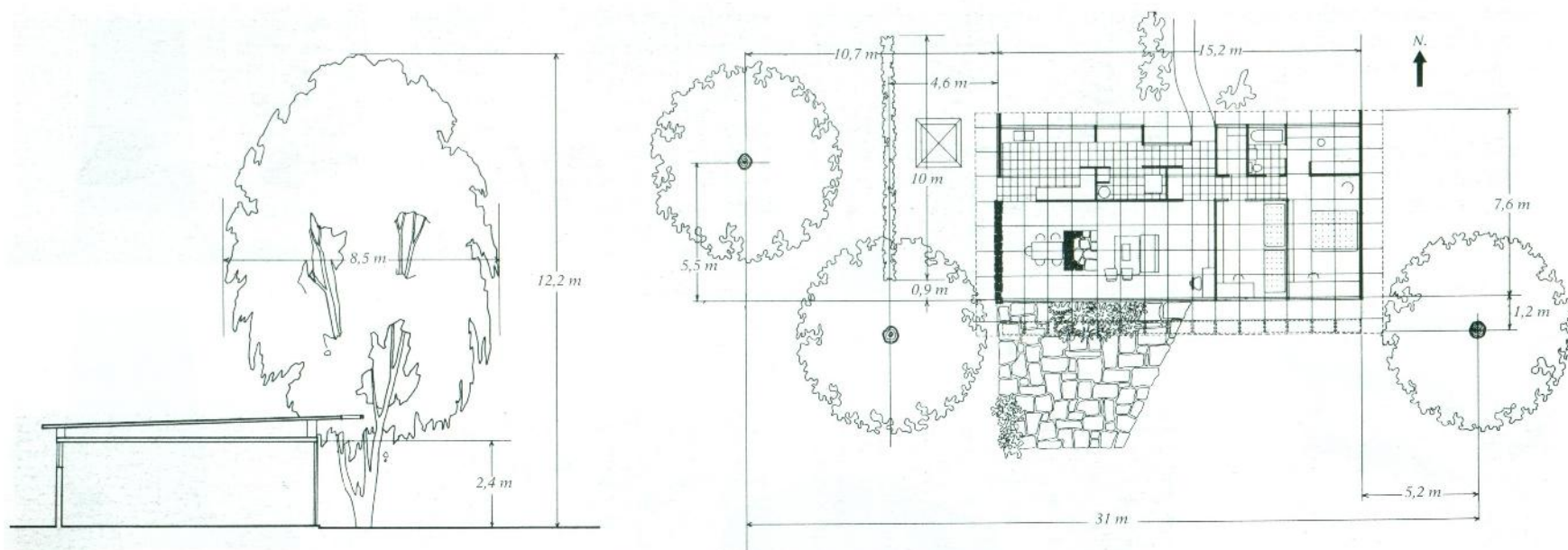
156. Variaciones anuales de la temperatura (°C) en tres lugares de Estados Unidos, en los períodos de sombra producidos por la vegetación autóctona.

Es conveniente plantar los árboles que proporcionan sombra lo más crecidos posible. Ciertamente, para dar resultados positivos en un corto período de tiempo, es necesario que, al ser plantados, su tamaño alcance entre 4,50 y 6 m de altura. No obstante, no todos los árboles tardan tanto como se cree en alcanzar su altura total; cuando se planta un árbol de cinco años de edad y de crecimiento rápido en un nuevo emplazamiento tarda solamente otros cinco años en alcanzar el 80 % de su ramaje de sombra total.

En las figuras superiores se ilustran las variaciones anuales de temperatura de tres emplazamientos en Estados Unidos: Devils Lake en Dakota del Norte; Harrisburg en Pensilvania; y Pensacola en Florida. La curva de temperatura anual para cada una de estas ciudades se ha realizado basándose en el promedio de las 24 horas de un día medio de cada mes. En las gráficas de los períodos cálidos, cuando la sombra es más necesaria, aparecen señalados con un tono oscuro. A la derecha del gráfico se ilustran los árboles y arbustos típicos de los emplazamientos

considerados. En el extremo derecho se muestran los períodos de sombra de los árboles, la escala vertical indica el porcentaje de sombra arrojada durante los meses especificados en la escala horizontal.

Parece evidente, a partir de estas gráficas, que aunque en cada caso las hojas aparecen en las ramas de los árboles antes de la época de sombra necesaria, el período de floración completa corresponde aproximadamente con la época en que la sombra es más necesaria. Así pues, estos procesos cooperan de forma flexible con



157-158. Sección y planta de una casa indicando la posición de la vegetación y las medidas de la cubierta y los voladizos.

las necesidades humanas, incluso durante las variaciones anuales. Si la primavera es muy fría, las hojas nacen más tarde, y si el verano es caluroso permanecen más tiempo en el árbol, dicha variación puede ser de hasta seis semanas.

Entre los árboles de hoja caduca se encuentran el arce y el fresno, los cuales producen una sombra de efecto circular durante el verano, con un patrón más ascendente en invierno. El tilo tiene una copa de forma esférica que al perder las hojas en invierno se convierte en un denso entramado de ramas. La acacia y el tulipán tienen forma oblonga. El roble blanco también tiene forma oblonga aunque orientada horizontalmente, con una estructura de ramas muy abierta que puede apreciarse en invierno. El álamo de lombardía tiene aspecto de columna y el olmo americano forma de jarrón.

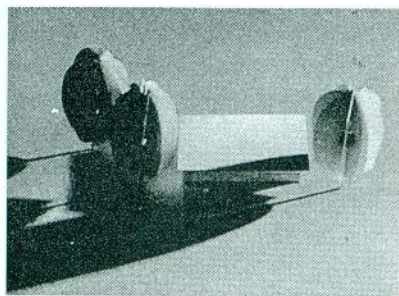
Entre los pequeños árboles florales podemos encontrar gran variedad de formas, tales como el manzano silvestre con su desarrollo vertical, el cornejo con su ramaje horizontal, la madreselva en forma de cascada, la espirea re-

dondeada o el membrillo japonés enano de amplio ramaje. Cada una de estas formas tiene una relación intrínseca con el efecto de sombra producida. La localización exacta de los árboles y de la vegetación puede determinarse según su sombra utilizando un transportador. La sombra proyectada de los árboles debe cubrir el contorno más expuesto en el período cálido.

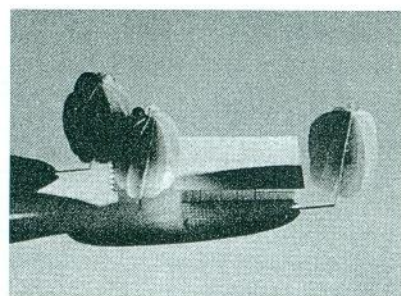
Para conseguir un eficaz efecto de sombra los árboles deberán colocarse estratégicamente. A primera hora de la mañana y al atardecer el sol pasa muy bajo, por lo tanto los árboles proporcionan su mayor beneficio cuando se colocan en los lados sureste y suroeste. Cuando el sol se encuentra en una posición baja, sus rayos producen sombras muy alargadas que protegen de forma eficaz aquellos lados del edificio que, de otra manera, sería muy difícil salvar. Al mediodía el sol se encuentra en lo alto y sus rayos pueden ser fácilmente interceptados con un voladizo; a esta hora del día, los árboles situados en el extremo sur no representan un elemento muy efectivo,

ya que proyectan su sombra muy cerca de ellos mismos.

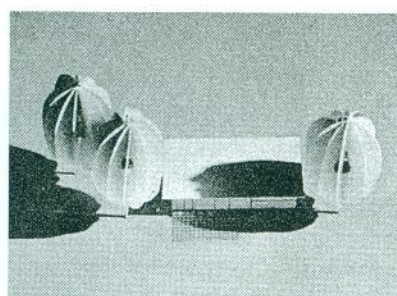
En el gráfico se ilustran la sección y la planta de una vivienda, incluyendo también un proyecto de jardinería adecuado para climas templados. En ellos, el sol del amanecer puede mitigar el frío de las primeras horas del día. Después de las 8:00 de la mañana el lado este queda amparado por el árbol situado en la esquina sureste. Al mediodía, el voladizo proporciona la sombra necesaria para proteger el edificio. En las primeras horas de la tarde el árbol emplazado en la esquina suroeste protege el lado oeste. Para completar la propuesta de sombras se sugiere la colocación de un árbol al oeste, situado a cierta distancia de la casa para que los rayos del sol de la tarde alarguen la sombra arrojada. Al oeste se coloca un seto para proteger de los últimos rayos del día. Las fotografías de la maqueta, en la página opuesta, muestran cómo arrojarán su sombra estos árboles a lo largo de las horas de un día de verano, desde el amanecer hasta el atardecer.



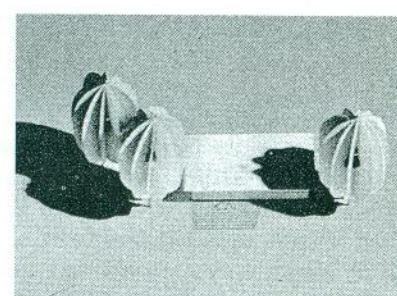
6 AM



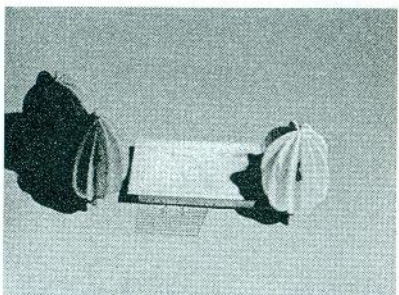
7 AM



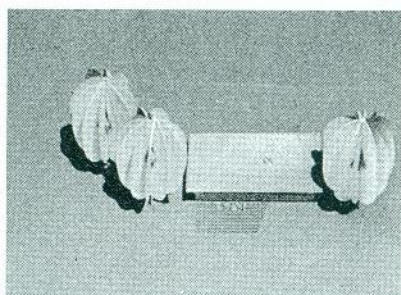
8 AM



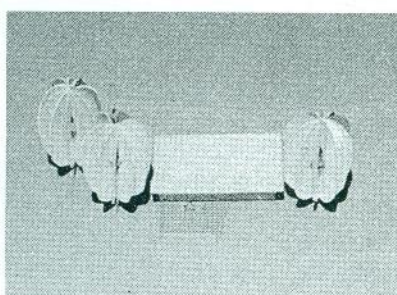
9 AM



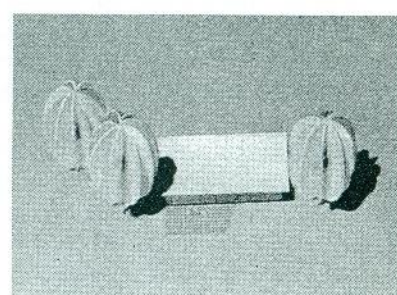
10 AM



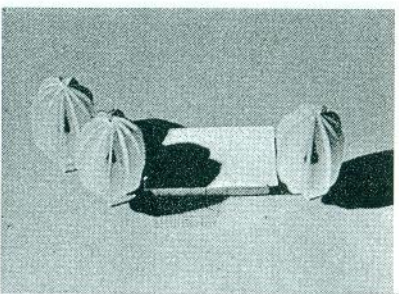
11 AM



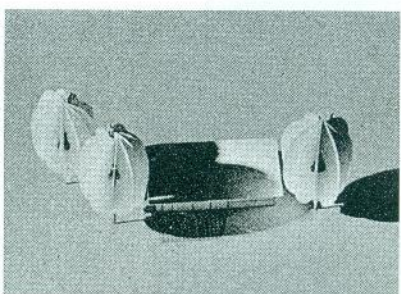
12 MEDIODÍA



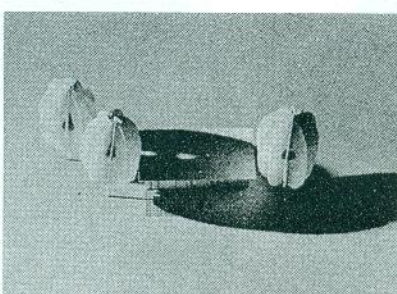
13 PM



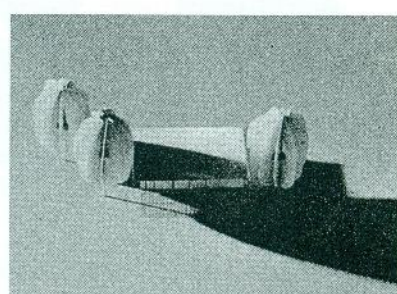
15 PM



16 PM



17 PM



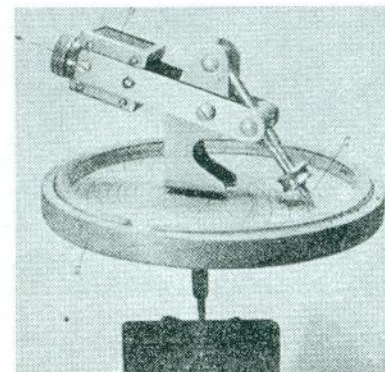
18 PM

DIFICULTADES DEL ENTORNO

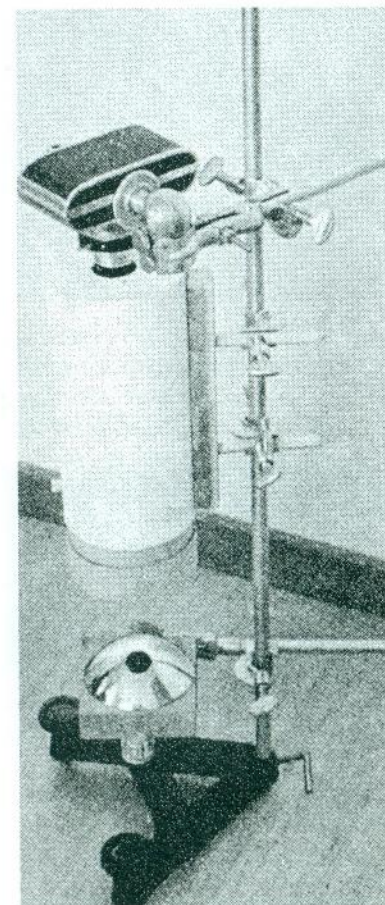
En las consideraciones precedentes el recorrido del sol se ha interpretado como un movimiento ininterrumpido en la bóveda celeste, comenzando y acabando en la línea del horizonte. En la realidad rara vez puede observarse de esta manera, excepto en casos extremos como puede ser desde un barco en altamar. Por lo general, siempre habrá objetos que, desde un punto de observación dado, obstruirán en parte la visión total del cielo. Estas obstrucciones pueden ser producidas por objetos inalterables tales como montañas, o estructuras construidas anteriormente alrededor del emplazamiento, o por objetos que pueden sufrir cambios o incluso rediseñarse de nuevo, como puede ser el caso de los mecanismos protectores. Las fotografías muestran, desde un punto de observación poco utilizado, un lugar ampliamente conocido, la plaza del Rockefeller Center en Nueva York. Dichas fotografías se tomaron desde el centro de la pista de

patinaje, durante el día y la noche, utilizando una cámara Robin Hill con un sistema de lentes convergente. La línea de horizonte aparece como un círculo, en el extremo exterior de la fotografía, y la bóveda celeste se oscurece por los perfiles de los edificios colindantes. Es obvio que el sol brillará en el punto desde donde se ha tomado la fotografía sólo cuando no se encuentre interceptado por edificios u otros objetos. Estas fotografías son, entonces, perfiles de sombra que pueden utilizarse para calcular la cantidad de luz solar que incidirá en dicho punto de observación.

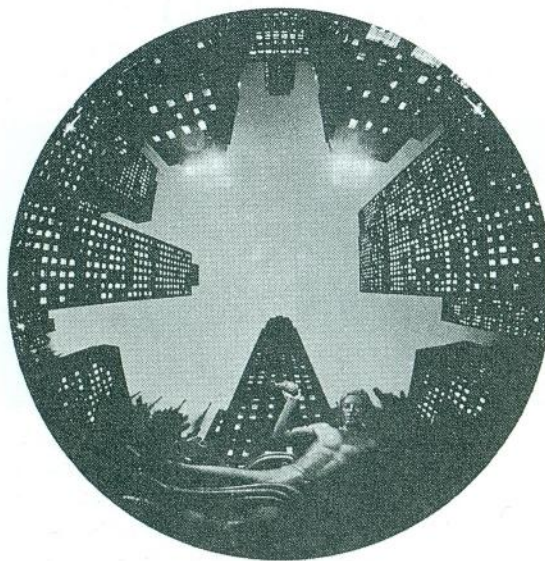
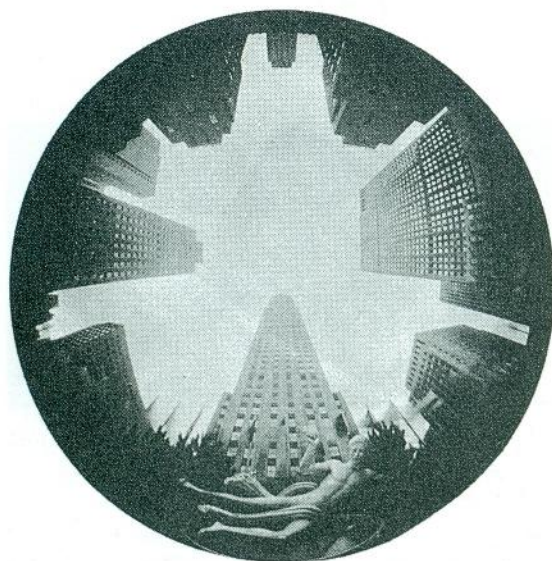
Otros métodos para determinar el patrón de obstrucción⁶, o perfil de sombra, se basan en el principio de que una superficie de espejo en forma de arco refleja la bóveda celeste y puede, así, observarse o ser fotografiada. Posteriormente, estas observaciones o fotografías pueden superponerse o trasladarse a diagramas de recorrido solar.⁷



161. El "horizontógrafo".

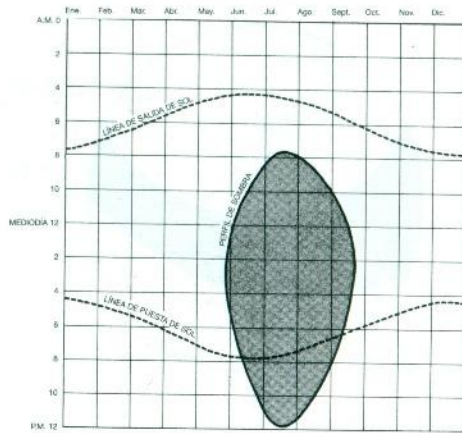


162. El "globoscopio".

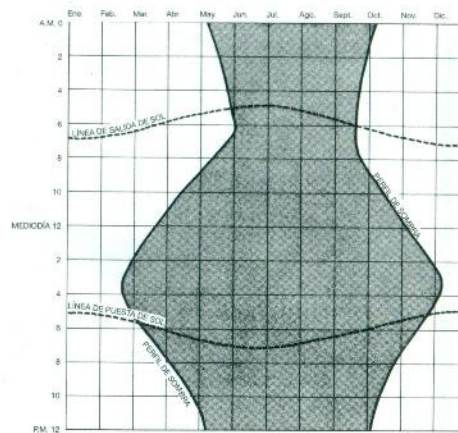


78 160. Plaza del Rockefeller Center de día y de noche.

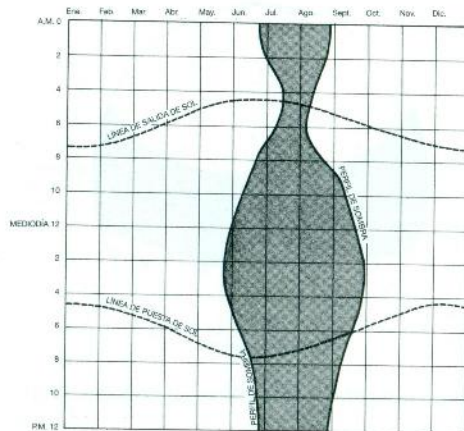
GRÁFICOS CORRESPONDIENTES AL PERÍODO DE SOBRECALENTAMIENTO



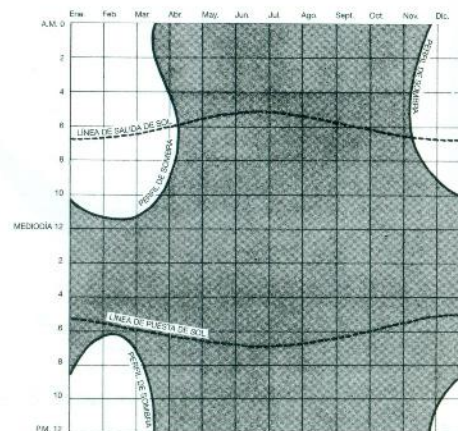
163. Minneapolis, Minnesota, 44° latitud N.



165. Phoenix, Arizona, 32° latitud N.



164. Zona de Nueva York-Nueva Jersey, 40° latitud N.



166. Miami, Florida, 24° latitud N.

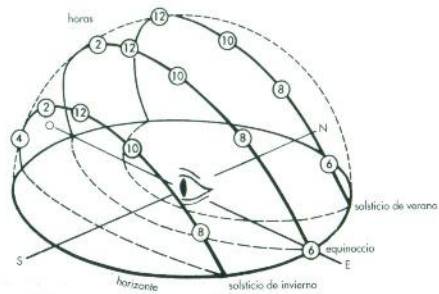
RESUMEN DEL MÉTODO

Si se desea utilizar un perfil de sombra para el proceso de diseño es necesario, en primer lugar, determinar los períodos –es decir, las horas y las estaciones– y la dirección –orientación y altitud– en la cual se necesita la sombra.

PASO 1. Para definir los períodos en que la sombra es necesaria, o sea, los excesivamente calurosos, deben recogerse los datos de los cambios de temperatura diarios durante un año, en el lugar en cuestión. La temperatura media diaria deberá determinarse cada hora o cada dos horas para cada mes del año. Aquellas temperatu-

ras que caen fuera del límite de la zona de confort (21,1 °C en la zona templada y aumentando a medida que la latitud decrece) definirán el período de sobrecalentamiento.

Estos datos pueden tabularse en una gráfica cuyas coordenadas se encuentran divididas según horas y meses.



Media esfera de la bóveda solar imaginaria con el recorrido solar. Las proyecciones del recorrido solar en el plano horizontal se indican con líneas de trazos discontinuos.

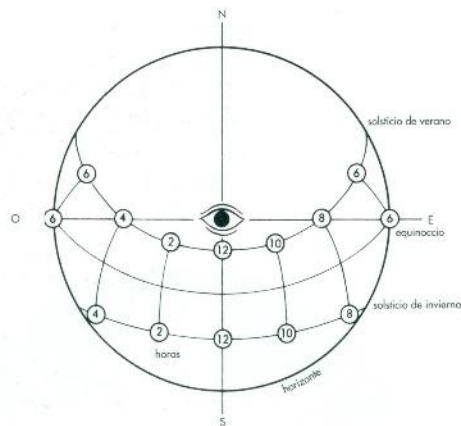
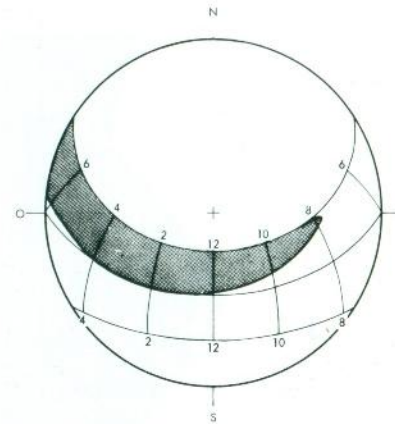
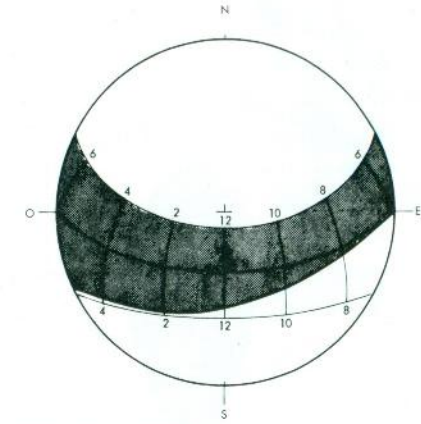


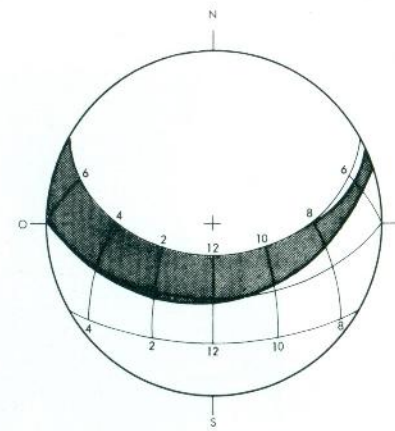
Diagrama de la proyección de la bóveda solar denominada "diagrama del recorrido solar"



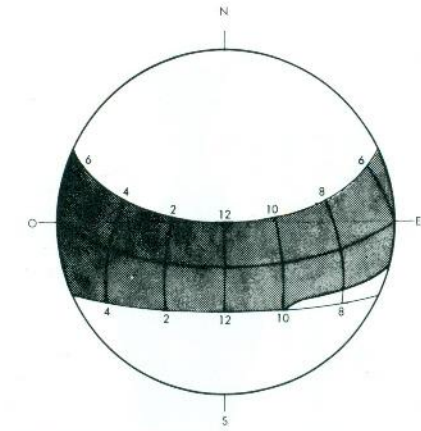
Minneapolis, Minnesota, 44° latitud N.



Phoenix, Arizona, 32° latitud N.



Zona de Nueva York-Nueva Jersey, 40° latitud N.



Miami, Florida, 24° latitud N.

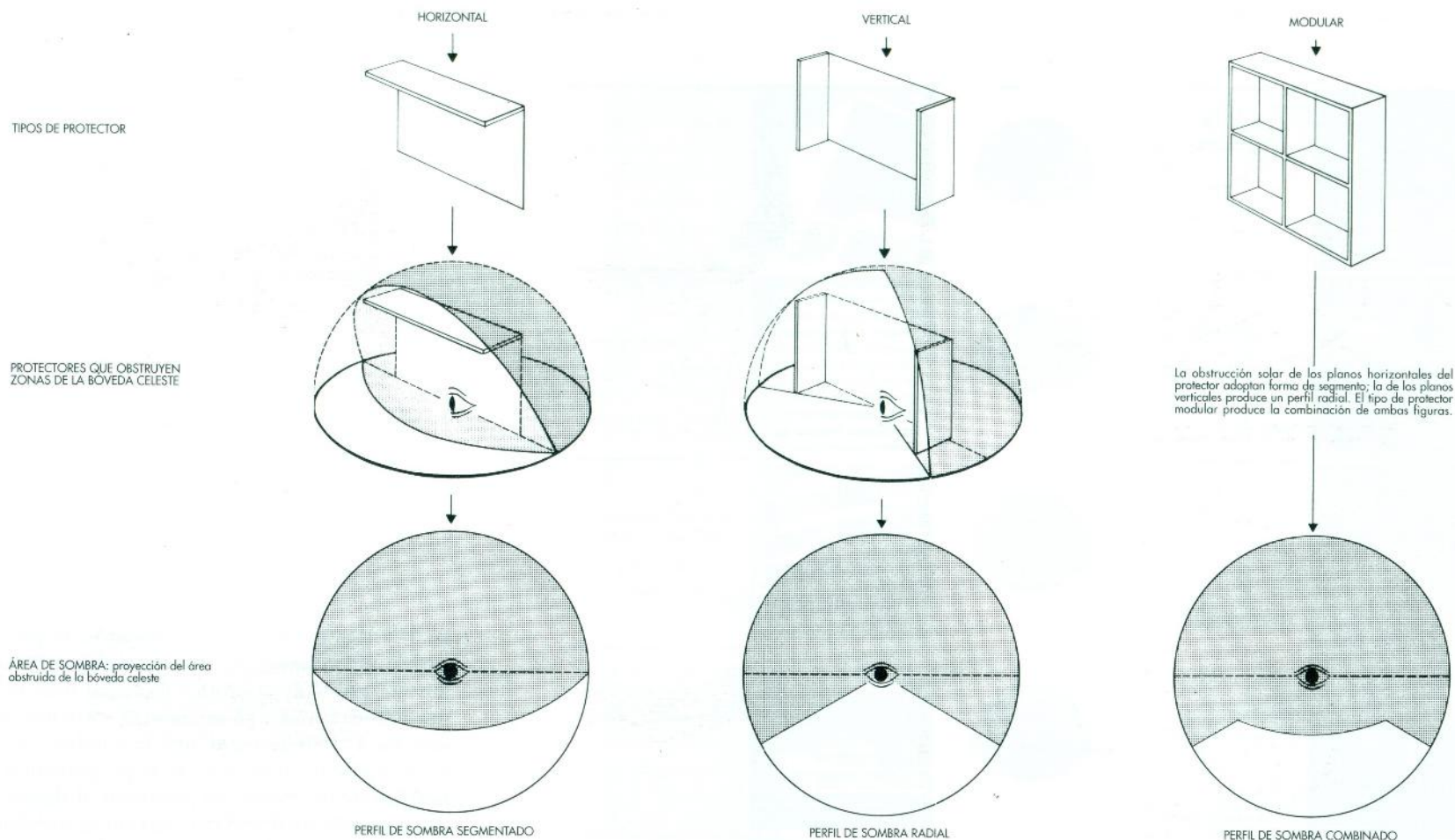
167. Recorrido y proyección del sol. Períodos de sobrecalentamiento aplicados sobre los diagramas del recorrido solar.

PASO 2. Para determinar la necesidad de sombra en función de la posición del sol: en un diagrama de recorrido solar las líneas curvas representan los movimientos del sol en las fechas dadas. Las líneas que parten del polo norte indican las horas, las líneas más finas señalan intervalos de 20 minutos. La posición del sol se expresa generalmente en términos de altitud, o distancia angular por encima del hori-

zonte, y acimut, o distancia angular, medida a lo largo del horizonte en el sentido de las agujas del reloj. Al trasladar el período caluroso a esta gráfica, el diagrama de recorrido solar resultante mostrará no solamente la posición del sol, sino también si la sombra es necesaria o no en un momento determinado.

Debido a la naturaleza del diagrama, cada línea representa dos fechas en las cuales el sol

pasa por el mismo sitio durante un año. El período caluroso indicado tendrá, para esas dos fechas, áreas (señaladas en tono oscuro) en las que se especifican los momentos en los que la sombra es necesaria, y otras zonas (en tono claro) en las que la sombra es necesaria en una sola de las fechas, y que corresponde por lo general a la de otoño. Este diagrama proporciona las bases para la evaluación de los mecanismos de protección.



168. Tipos básicos de protectores solares y su proyección de sombra.

PASO 3. Para determinar el tipo y la posición de un mecanismo de protección durante el período caluroso: mediante métodos geométricos es posible dibujar un perfil de sombra para cualquier elemento, incluso para los más complejos. Utilizando un transportador, se dibuja la proyección de la sombra de un elemento en la bóveda celeste, al tiempo que se determina el perfil de sombra de los objetos colindantes.

Debido a que las sombras obedecen a una descripción geométrica convencional, son independientes de la latitud, de la orientación y

del horario. Una vez dibujado el perfil de sombra de un elemento específico, puede utilizarse para cualquier situación. Los mecanismos protectores pueden agruparse según sus perfiles de sombra en tres categorías principales:

Voladizos horizontales: su perfil típico se caracteriza por presentar áreas segmentadas.

Estructuras de lamas verticales: el perfil típico está definido por líneas radiales.

Estructura tipo panel: básicamente son una combinación de planos verticales y horizontales, su perfil de sombra responde a dicha combinación.

Las características de un perfil de sombra serán independientes de la escala o tamaño del elemento; el factor determinante será la relación entre su profundidad y su tamaño en la superficie del muro. Este factor se expresa a través del ángulo que muestra dicha relación en un plano perpendicular al muro. La sombra y, como consecuencia, su perfil dependen de este ángulo. Un elemento de sombra muy pequeño, como una persiana veneciana en el exterior, puede tener el mismo perfil de sombra que los balcones de un edificio.

IMAGEN	SECCIÓN	PERFIL DE LA SOMBRA	EJEMPLO	CARACTERÍSTICAS:
				Los elementos horizontales opacos son más eficientes en la orientación sur y sureste. Su perfil de sombra característico es el segmento.
				Las lamas horizontales tienen la ventaja de que dejan pasar el aire cerca de la fachada. Además proporcionan mejor protección que las verticales.
				Los toldos tienen las mismas características que los elementos horizontales opacos y, además, pueden ser retráctiles.
				Para la protección de ángulos solares muy bajos, las lamas horizontales suspendidas de planos horizontales opacos son muy eficaces.
				Un plano sólido o perforado paralelo a la fachada protege los rayos más bajos del sol.
				Las lamas móviles horizontales hacen variar su perfil de sombra en función de su posición.

PASO 4. Para evaluar los elementos de protección pueden señalarse dos tipos de perfil: uno para el 100 % de sombra, en el cual toda la superficie del muro se encuentra en sombra, y uno para el 50 %, en el cual la sombra abarca la mitad de la superficie. Si superponemos los perfiles de un elemento protector al diagrama de recorrido solar y al período cálido señalado, obtendremos las horas en las cuales dicho elemento interceptará los rayos del sol. Evidentemente, podemos afirmar que si el 50 % del perfil de sombra cubre la zona de período cálido mostrado en el diagrama de recorrido solar, el diseño del elemento funciona correctamente. Para una evaluación más detallada es necesario realizar los cálculos de la radiación.

IMAGEN	PLANTA Y SECCIÓN	PERFIL DE LA SOMBRA	EJEMPLO	CARACTERÍSTICAS:
				Los protectores verticales son adecuados para las orientaciones este y oeste. Su perfil de sombra es el segmento.
				Los protectores verticales oblicuos a la fachada producen un perfil asimétrico. La separación de estos elementos de la fachada evita la transmisión del calor.
				Las lamas móviles pueden ensombrecer todo el hueco y orientarse de acuerdo a la posición del sol.

TIPOS PROTECTORES

				El modular es una combinación de los tipos horizontal y vertical, siendo su sombra resultante una superposición del diagrama de ambas.
				Los paneles modulares macizos con planos verticales oblicuos producen un perfil asimétrico.
				Protector tipo módulo con elementos horizontales móviles producen sombras con características variables. Debido al elevado índice de sombra que producen son aconsejables en climas calurosos.

Si es preciso para el proceso de diseño, es posible también invertir el proceso de evaluación. Utilizando un diagrama de recorrido solar en el cual se haya señalado el período cálido, es posible determinar un perfil de sombra superpuesto apropiado y desarrollar un proyecto adecuado para una situación específica. Existen numerosos elementos de sombra que poseen el mismo perfil y, por lo tanto, características similares; es posible, pues, encontrar diversas soluciones técnicamente correctas para cada situación. Escoger la más adecuada es tarea del arquitecto; y es aquí donde comienza el dominio del diseño creativo.

VIII. ENTORNO Y FORMAS EDIFICATORIAS

MORFOLOGÍA EN LA NATURALEZA

Es un hecho reconocido que las fuerzas de la naturaleza inciden directamente en la conformación de los objetos naturales.

En la historia de la naturaleza existe una ley universal por la cual sólo sobreviven las especies que se encuentran en armonía con su entorno, en equilibrio con los materiales que las rodean y adaptadas a todas aquellas fuerzas, internas o externas, a las que se encuentran expuestas.

Los organismos vivos ocupan un campo sujeto a diversas tensiones que, lejos de ser simple, constituye un entorno de enorme complejidad. Tal y como sucede en la física, el conocimiento de la forma nos conduce a la interpretación de las fuerzas que la han moldeado y, en otros momentos, el conocimiento de las fuerzas, es el que nos lleva a entender mejor el interior de las formas. Como consecuencia, la concepción de la forma es esencialmente la comprensión de las fuerzas que le dieron origen, la forma es la representación diagramática de las fuerzas en equilibrio.

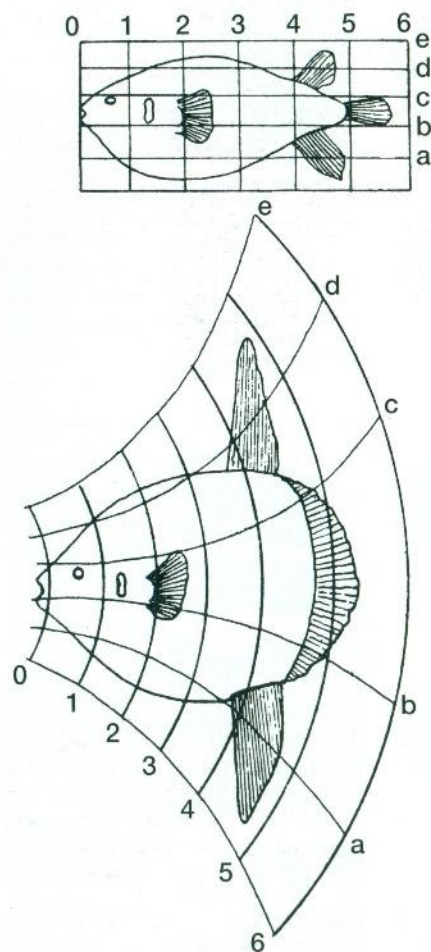
En la vida orgánica, las tensiones y su adaptación a las mismas se encuentran sujetas a una dinámica de cambios continuos. Oliver Lodge escribió "*Ignorato motu, ignoratur Natura*". Este cambio constante constituye la base de la teoría de la evolución, es decir cuando el mismo "gen" está sometido a distintas circunstancias se deforma proporcionalmente a una magnitud relativa diferente, tanto en "exceso como en defecto".

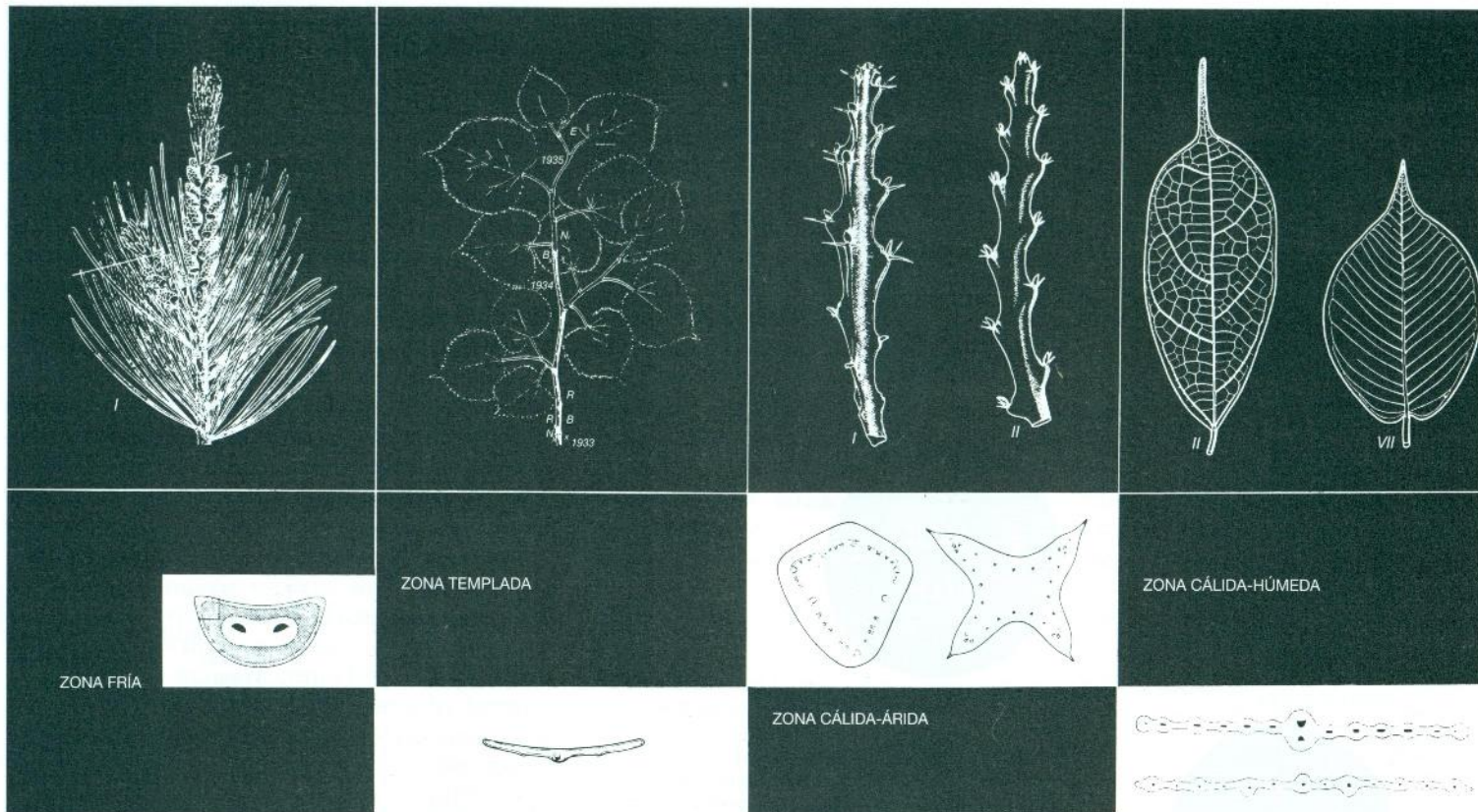
En el diagrama se ilustra un *diodon*, o pez-puercoespín. Si deformamos sus coordenadas verticales según un sistema de círculos concéntricos, y las horizontales según hipérbolas, la nueva malla muestra la representación de un pez plano que puede ser de una familia próxima a la del anterior, pero con un aspecto completamente diferente, el *orthagoriscus mola*, cuya forma está influenciada por el hábitat donde vive.

Apartándonos de la complejidad del mundo zoológico, observamos que la vida vegetal muestra una mayor relación con el problema térmico específico. La morfología de las plantas en los diferentes climas parece tener una cierta analogía con la edificación, ya que algunas de las tensiones que inciden en su forma (tales como las variaciones de temperatura) corresponden de manera similar a las necesidades medioambientales humanas.

Los ejemplos ilustrativos de secciones transversales de las hojas que se muestran en la página opuesta (pero que no necesariamente corresponden a las mismas plantas que se ilustran arriba) pueden llamar nuestra atención por su interesante similitud. De acuerdo con un entorno favorable o adverso las plantas pueden abrir o cerrar su superficie. Las plantas de las regiones frías o áridas y calurosas presentan secciones macizas similares; es decir, gran contenido en una superficie relativamente pequeña. Esta es su respuesta para defenderse de un frío excesivo o de un calor tórrido. Por el contrario, las plantas de zonas más templadas se abren al contacto con su entorno estacional; y el crecimiento de la vegetación, en regiones húmedas y calurosas, es libre tanto en su forma como en su tamaño.¹

En el estudio de las características de la edificación regional, que se realizará más adelante, los dos factores térmicos principales –la combinación de la temperatura del aire y de la radiación– serán las pautas que guiarán la investigación. Debido a que no se han tomado como referencia las condiciones particulares locales sino, más bien, las de carácter regional, el efecto del movimiento del aire en los cálculos de la convección se ha considerado como un valor constante y adireccional. Los resultados apuntan hacia formas que bajo determinadas condiciones resisten mejor; es decir, están mejor adaptadas a su entorno térmico.





172. Morfología de las plantas en diferentes climas.

Estos cálculos están basados en cantidades y su valoración se expresa de esta misma manera. Sin embargo, es posible advertir que el significado de las observaciones se apoya en la tendencia intrínseca de la forma en sí misma, en la peculiaridad de las densidades favorables, en formas relacionadas con los diferentes tipos de hábitats, y en las cualidades que, como consecuencia, pueden influenciar e incluso dominar la composición arquitectónica en las diversas zonas climáticas.

FORMA DE LAS HOJAS EN DIFERENTES ENTORNOS. Las secciones de las hojas muestran el efecto del entorno en la morfología de las plantas.

En la zona fría las agujas del pino tienen una formación cilíndrica un poco allanada, para poder resistir el frío, la sequía, los vientos y otras condiciones desfavorables. La forma es compacta.

En la zona templada el lado expuesto de las hojas es transparente para permitir que la luz incida al máximo en su superficie. El entorno estacional amable favorece que las hojas adquieran una forma abierta y de considerable tamaño.

En la zona cálida-árida el entorno no es muy favo-

rable y exige un gran esfuerzo a las plantas. Éstas se adaptan a las adversas condiciones mediante la reducción de la superficie de sus hojas y ramas (en realidad tienen verdes tallos) y presentan un exagerado desarrollo de gran cantidad de celdillas protectoras. La forma es compacta para lograr la protección adecuada.

En la zona cálida-húmeda las condiciones son favorables para la vida de las plantas; el clima, semejante a un invernáculo, proporciona la adecuada humedad, calor y lluvia. Bajo sombra protegida las plantas pueden desarrollar una forma y un tamaño totalmente libres.

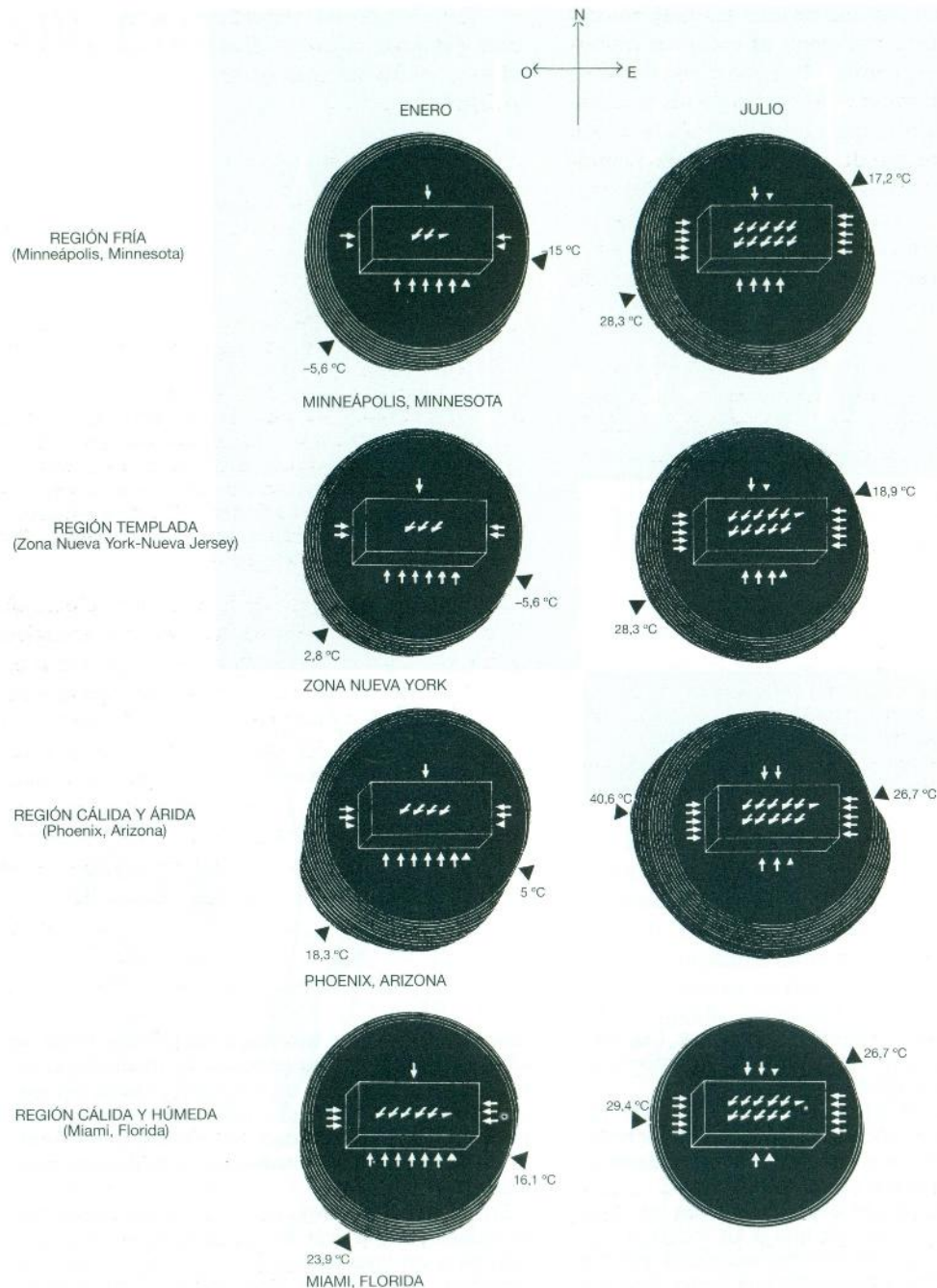
IMPACTO DE LAS FUERZAS TÉRMICAS EXTERNAS EN LA EDIFICACIÓN

Para investigar acerca de los efectos del clima en la edificación pueden considerarse, para el entorno humano, factores similares a los que afectan a la forma de las plantas.

Volvamos a los cuatro emplazamientos típicos de las principales zonas climáticas de Estados Unidos que fueron objeto de estudio en el Capítulo III. Estas áreas representan ambientes fríos, templados, cálidos-áridos y cálidos-húmedos. En la tabla VIII-1 se han escogido el día más frío (21 de enero) y el más cálido (21 de julio), como indicativos de las condiciones de invierno y verano. Los efectos de la radiación en los diversos lados del edificio pueden expresarse en kcal/m²/día como sigue (ver también el Apéndice A-4):

TABLA VIII-1

		kcal/m ² /día	
		Invierno	Verano
Minneapolis	E	1128	3564
	S	3727	2656
	O	1128	3564
	N	225	1172
	Cubierta	1774	6885
Nueva York	E	1402	3464
	S	4039	2276
	O	1402	3464
	N	323	1166
	Cubierta	2135	7104
Phoenix	E	1682	3274
	S	4356	1527
	O	1682	3274
	N	380	1226
	Cubierta	2588	7042
Miami	E	1991	3236
	S	4394	933
	O	1991	3236
	N	412	1671
	Cubierta	3836	6966



A partir de estos datos podemos observar que, en latitudes septentrionales, la fachada sur de un edificio recibe en invierno aproximadamente el doble de radiación que en verano. Este efecto es todavía más pronunciado en latitudes

inferiores, donde la relación es casi de 1 a 4. Asimismo, en latitudes superiores, las fachadas orientadas hacia el este y el oeste reciben aproximadamente 2,5 veces más radiación en verano que en invierno. Este índice no es tan alto en latitudes más meridionales, no obstante, debe destacarse que en verano dichas fachadas reciben dos o tres veces más radiación que las orientadas a sur. Los impactos de las altas temperaturas en el lado oeste aumentan por efecto de la radiación del atardecer. En todas las latitudes, la cara norte recibe solamente una pequeña cantidad de radiación, que es especialmente baja en verano. No obstante, en las latitudes más inferiores, la fachada norte recibe, en verano, aproximadamente el doble de radiación que la cara sur. La cantidad de radiación que incide en una cubierta horizontal durante el verano supera a la de cualquiera de las otras superficies. El impacto calorífico que afecta a la cubierta merece especial atención, ya que su área es casi equivalente a la suma total de todas las superficies de la vivienda.

La tabla muestra cómo los distintos lados de un edificio reciben un impacto térmico marcadamente diferente. Los cambios de valor a lo largo de las estaciones en cada una de las caras del edificio determina la radiación en función de la orientación

La importancia relativa de las tensiones térmicas locales deben ser clarificadas para definir el papel que juegan en la determinación de la forma de una estructura. Una temperatura general baja determina la tendencia a construir edificios de forma compacta, mientras que los impactos de radiación fuertes inducen al alargamiento de las formas, principalmente en dirección este-oeste.

CRITERIO DE LA FORMA ÓPTIMA

Puede tomarse como una norma que la forma óptima es aquella que desprende la mínima cantidad de kcal en invierno y que absorbe el mínimo de kcal durante el verano. Es muy extendida la opinión de que los edificios de plan-

ta cuadrada son los que poseen las mejores características para preservar el calor en invierno y el fresco en verano. La razón en la cual se basa esta convicción es el hecho de que un edificio cuadrado alberga el mayor volumen con el menor perímetro de exposición. Este principio puede ser válido para tipologías edificatorias antiguas en las cuales, debido al reducido tamaño de las ventanas, el efecto de la radiación es despreciable. Con las tipologías de grandes aberturas de hoy en día, esta afirmación se convierte en una falacia.

Los impactos térmicos en el interior de un edificio deben contabilizarse cuantitativamente. El efecto combinado de la temperatura y de la radiación puede expresarse, junto con la temperatura sol-aire, en la superficie externa del edificio. El efecto producido en el interior puede calcularse utilizando el método del flujo de calor.

Llamaremos "c", a los efectos producidos por el calor en el interior, y "x" e "y" a los lados de la vivienda.

Así, el área de una planta dada es: $A = xy$ si buscamos una forma que nos proporcione los mejores resultados, podemos expresarlo de la siguiente manera: $x\Sigma c_1 + y\Sigma c_2 = \text{mínimo}$, donde c_1 y c_2 son las fuerzas térmicas de los lados opuestos.

Expresándolo en forma del multiplicador de Lagrangean tenemos:

$$\begin{array}{ll} \Sigma c_1 - \lambda y = 0 & \text{entonces } \Sigma c_1 = \lambda y \\ \Sigma c_2 - \lambda x = 0 & \Sigma c_2 = \lambda x \end{array}$$

la forma óptima puede expresarse así:

$$\frac{\Sigma c_1}{\Sigma c_2} = \frac{y}{x}$$

Cuando existe una relación inversa entre los impactos térmicos y el tamaño de los lados de la estructura, la forma óptima es aquella en la cual las tensiones térmicas se encuentran en equilibrio.

MÉTODO DE CÁLCULO. Los efectos del calor en el interior (c) se calculan con el método de flujo periódico, utilizando la siguiente ecuación para el caso de materiales opacos:²

$$c = U (t_m - t_i) - \lambda U (t_e^* - t_m)$$

En el caso de superficies acristaladas, el método para calcular el aumento térmico debido a la incidencia solar ha utilizado la siguiente ecuación:

$$c = I_D(T_D \times a_D) + I_d(T_d \times \alpha_d) + U (t_o - t_i)$$

Donde los símbolos de la ecuación designan:

U = coeficiente total de transmisión de calor en kcal/m²/hora

t_o = temperatura exterior

t_i = temperatura interior

t_m = temperatura media sol-aire en ciclos de 24 horas

t_e^{*} = temperatura sol-aire antes de producirse el retraso por inercia

λ = factor de reducción de la amplitud

α = nivel de absorción climática de las fachadas. Los subíndices D y d se refieren a la incidencia de radiación solar directa y difusa respectivamente.

I = radiación solar incidente en kcal/m²/hora. Los subíndices D y d se refieren a directa y a difusa.

T = coeficiente de radiación solar. Los subíndices D y d se refieren a directa y a difusa.

APLICACIÓN. Con objeto de investigar el efecto de la forma en el entorno térmico hemos escogido una vivienda tipo y la hemos emplazado hipotéticamente en cada una de las cuatro regiones climáticas analizadas previamente. Suponemos que la vivienda seleccionada está realizada utilizando un sistema constructivo normal, provisto de un coeficiente de transmisión de calor (U = 0,13), con un 40 % de superficie acristalada (panel sencillo) en la fachada sur, y un 20 % en el resto de fachadas. Aunque todas las conclusiones expuestas afectan directamente a este tipo de viviendas, otras tipologías se comportarán más o menos de forma similar. Algunos edificios o viviendas muy bien aislados, o incluso construcciones con protectores solares en la cara sur, experimentarán deformaciones aún mayores que las descritas. Por el contrario, aquellas edificaciones con relativamente pocas ventanas, o bajo sombra, mostrarán menor dilatación.

Como referencia comparativa, se han estudiado, en primer lugar, los efectos producidos en una vivienda cuadrada de 305 metros de superficie. El impacto calorífico en la cubierta se considera constante, independientemente de la forma, y, por tanto, se han calcu-

lado dichos impactos sólo para los cuatro lados. Los flujos de calor, calculados hora a hora, se han sumado para obtener un promedio total diario. En esta casa cuadrada, las cantidades de calor absorbido y expelido en los diferentes emplazamientos son:

	kcal total impacto/día	
	Invierno	Verano
Minneapolis	-88.803	49.542
Nueva York	-48.963	47.955
Phoenix	10.710	85.301
Miami	43.293	58.211

Estos resultados, obtenidos para la casa de planta cuadrada, podremos compararlos con otras viviendas construidas con el mismo sistema, las mismas características e igual superficie, pero con formas diferentes: algunas desarrolladas sobre un eje este-oeste y otras en la dirección norte-sur. En las siguientes tablas, la columna de la izquierda ilustra la relación entre los lados este-oeste y norte-sur del edificio.

MINNEÁPOLIS

	kcal total impacto/día	
Relación	Invierno	Verano
5 : 1	-123.806	74.465
4 : 1	-114.809	68.669
3 : 1	-105.334	62.344
2 : 1	-95.809	55.641
1,5 : 1	-91.626	52.340
1 : 1	-88.803	49.542
1 : 1,5	-89.585	48.711
1 : 2	-92.432	49.542
1 : 3	-99.589	52.012
1 : 4	-107.224	55.590
1 : 5	-114.759	59.219

NUEVA YORK

	kcal total impacto/día	
Relación	Invierno	Verano
5 : 1	-75.826	74.666
4 : 1	-69.375	68.543
3 : 1	-62.470	61.890
2 : 1	-55.716	54.759
1,5 : 1	-52.163	51.256
1 : 1	-48.963	47.955
1 : 1,5	-47.627	46.544
1 : 2	-48.056	46.745
1 : 3	-50.298	48.711
1 : 4	-53.171	51.306
1 : 5	-56.170	54.053

PHOENIX

	kcal total impacto/día	
Relación	Invierno	Verano
5 : 1	-3.881	123.379
4 : 1	-1.915	114.005
3 : 1	655	104.101
2 : 1	4.208	93.794
1,5 : 1	6.754	88.981
1 : 1	10.710	85.201
1 : 1,5	15.095	84.974
1 : 2	18.472	86.890
1 : 3	24.116	92.711
1 : 4	28.703	99.288
1 : 5	32.710	105.764

MIAMI

	kcal total impacto/día	
Relación	Invierno	Verano
5 : 1	40.345	91.829
4 : 1	39.261	84.218
3 : 1	38.531	75.877
2 : 1	38.833	67.007
1,5 : 1	40.043	62.546
1 : 1	43.294	58.212
1 : 1,5	48.208	56.246
1 : 2	52.794	56.297
1 : 3	61.337	58.338
1 : 4	68.998	61.337
1 : 5	75.928	64.663

CONCLUSIONES PARA LA "FORMA BÁSICA" DE LA VIVIENDA

Para definir la forma más favorable de una vivienda en un entorno dado se ha empleado el criterio de la "forma óptima". No obstante, también se ha aplicado un criterio de "flexibilidad", con objeto de permitir un cierto grado de libertad en las proporciones de la planta que pueden considerarse como generalmente buenas. En este estudio, la forma alargada, sujeta a los mismos impactos caloríficos que la forma cuadrada, se ha definido, arbitrariamente, como el límite superior de las variaciones dentro de la categoría óptima.

Dicho criterio, aplicado en las diferentes localidades, ha dado como resultado las siguientes conclusiones:

Minneapolis: El óptimo invernal se recibe con una forma 1:1,1; el óptimo estival con una 1:1,4. Debido a que las tensiones invernales

son aproximadamente el doble que las de verano, y que la duración del período cálido es solamente el 20 % del año, hemos adoptado el índice de invierno. El coeficiente de elasticidad de forma es 1:1,3.

Nueva York: El óptimo invernal es 1:1,56, el del verano es 1:1,63. Índice adoptado 1:1,6. Elasticidad 1:2,4.

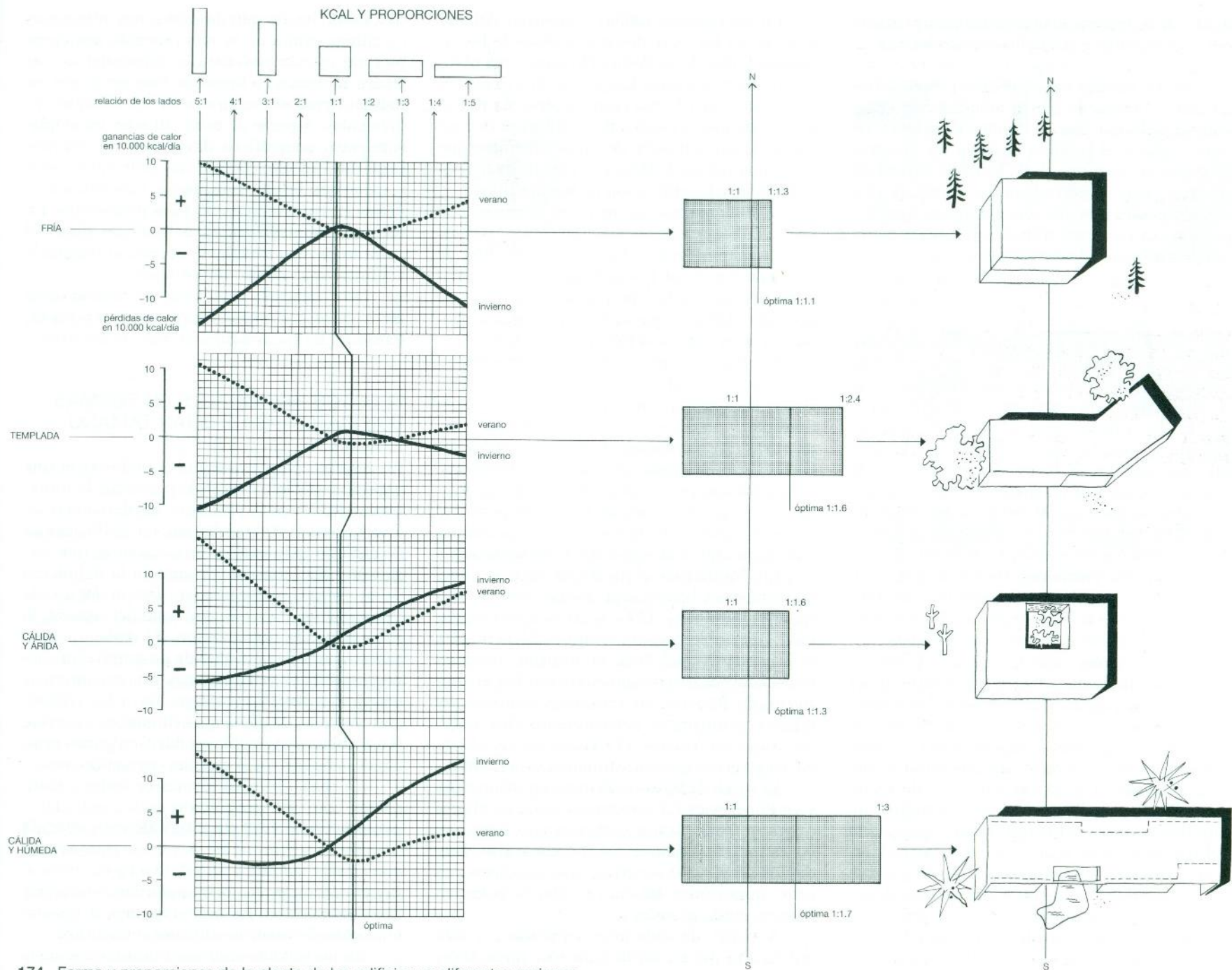
Phoenix: El óptimo estival es 1:1,26. En invierno, como consecuencia del gran efecto solar, no existe un límite específico, sin embargo se considera favorable orientar una fachada amplia hacia el sur. Debido a que las tensiones de verano son hasta ocho veces mayores que las de invierno la forma óptima debe ser 1:1,3. El índice de elasticidad es 1:1,6.

Miami: El óptimo estival es 1:1,7, el invernal 1:2,69. En este caso la forma invernal es más libre y tiene poca importancia debido a la brevedad del período frío. El óptimo adoptado es 1:1,7 y el de elasticidad 1:3.

A partir estas observaciones es posible concluir:

1. La casa cuadrada no es la forma óptima en ninguno de estos emplazamientos.
2. Las formas alargadas sobre un eje norte-sur, son menos eficaces que la forma cuadrada tanto en invierno como en verano.
3. En todos los casos, la forma óptima es aquella que, de alguna manera, se desarrolla a lo largo de un eje con dirección este-oeste.

A continuación se presenta una gráfica de los cálculos. A la izquierda de dicha gráfica se muestra la cantidad de calor recibida por las diferentes formas edificatorias. Como referencia de partida se han tomado los valores numéricos correspondientes a la cantidad de calor recibida por una casa cuadrada, tanto en invierno como en verano; estos valores se han situado en la línea cero. Las cantidades de calor recibidas por otras formas (ver arriba) se han graficado a partir de esta línea y siempre en relación a la misma. La columna central ilustra las formas básicas y flexibles en comparación con la superficie cua-



174. Forma y proporciones de la planta de los edificios en diferentes regiones.

drada. A la derecha aparecen las interpretaciones arquitectónicas de dichas formas básicas.

EFFECTOS REGIONALES EN LA FORMA DE LAS VIVIENDAS. La forma óptima se ha definido anteriormente como aquella que gana el mínimo de calor en verano y pierde el mínimo de calor en invierno. Obviamente, la forma de la vivienda variará de acuerdo con la región en la que se encuentre y los efectos producidos por las tensiones térmicas pueden corregirse en términos arquitectónicos, siempre dentro de los límites elásticos.

En la *zona fría*, las bajas temperaturas invernales no son compensadas por la radiación solar, que permitiría un desarrollo alargado en dirección este-oeste, por tanto, es más favorable tender a la definición de una forma más cuadrada. En casas grandes, la forma cúbica puede resolverse con una estructura de dos plantas.

En las *regiones templadas*, donde la variación de temperatura permite el diseño de plantas más flexibles, la forma alargada resulta la más apropiada. Las tensiones térmicas, incluso sobre los cuerpos que se extienden en dirección norte-sur, producen menos efectos negativos que en otras regiones. Como consecuencia, esta región soporta plantas en forma de cruz o libres; no obstante, debe destacarse que un edificio desarrollado a lo largo de un eje este-oeste es definitivamente la forma más adecuada.

En las *regiones calientes y áridas* la vivienda, en condiciones invernales, podría tener una forma alargada. Sin embargo, las fuertes tensiones térmicas del verano hacen que el cuadrado sea la forma más apropiada. No obstante, el ambiente interior (microclima) se mejora aún más si se extrae un trozo de dicho cuadrado y se rellena el vacío resultante con aire fresco (proporcionado por la evaporación del frío a través de la colocación de césped, árboles, fuentes, piscinas) y con sombra (árboles, emparrados, celosías). La planta puede desarrollarse libremente alrededor de dicho "jardín" (antiguo peristilo o tipología de casa-patio). Como consecuencia, el esquema de planta básico se desarrolla en torno al interior.

En las regiones *cálidas y húmedas* del sur, el sol ataca los extremos este y oeste de las viviendas forzando su desarrollo según una planta estrecha y alargada. Las temperaturas no son excesivas, y una forma como la descrita puede ser beneficiosa a efectos de ventilación (y contrarrestar así la presión de vapor). Siempre que se encuentren protegidas por la sombra, es posible dotar a la edificación de formas libres.

Si aumentamos cuatro veces la misma forma, su índice de superficie se rebajará a 1:4, y los impactos ambientales disminuirán también de forma proporcional. Los icebergs flotantes sobreviven durante un tiempo considerable antes de derretirse debido a que su masa es inmensamente grande en relación a su superficie expuesta.

Resulta evidente que el efecto volumen puede ser utilizado arquitectónicamente para aliviar las tensiones térmicas que afectan a la totalidad. Algunos cálculos muestran que, mientras en una vivienda el 90 % de la carga frigorífica está originada por factores climáticos, en un edificio de grandes dimensiones el mismo efecto produce valores inferiores al 60 %.³ En estos casos, tanto la forma como la orientación adquieren una importancia secundaria.

En Minnesota el impacto total de kcal (calculado en base a una unidad teórica) durante el invierno (-429,4 kcal) es aproximadamente el doble que en verano (223 kcal). En el área de Nueva York el impacto invernal (-254 kcal) es mayor que el estival. Por el contrario, en Phoenix las tensiones térmicas del verano es un factor determinante (401 kcal), así como en Miami (275 kcal), donde el impacto invernal es relativamente despreciable.

El nivel de tensión térmica en Minnesota y en Phoenix es 1,5 veces mayor que en Miami o Nueva York. Como consecuencia, tanto en las zonas frías como en las cálidas-áridas, donde los impactos adversos son excesivos, es muy importante buscar el efecto volumen construyendo grandes masas.

A partir de anteriores experiencias, esta afirmación parece obvia para los climas fríos, pero no queda tan claro en las zonas cálidas-áridas.

Como ilustración de soluciones autóctonas en climas similares, se han escogido dos ejemplos de estructuras nativas comunitarias, las cuales, sometidas a impactos más benévolos, se habrían separado seguramente en unidades individuales. A pesar de estar situadas en emplazamientos geográficos diferentes, los mismos impactos excesivos propios de ambientes áridos y calurosos les ha obligado a concentrarse y unirse en envolventes colectivos protectores. En regiones templadas y cálidas-húmedas, donde el entorno es más amable, la necesidad del efecto volumen tiene menor importancia.

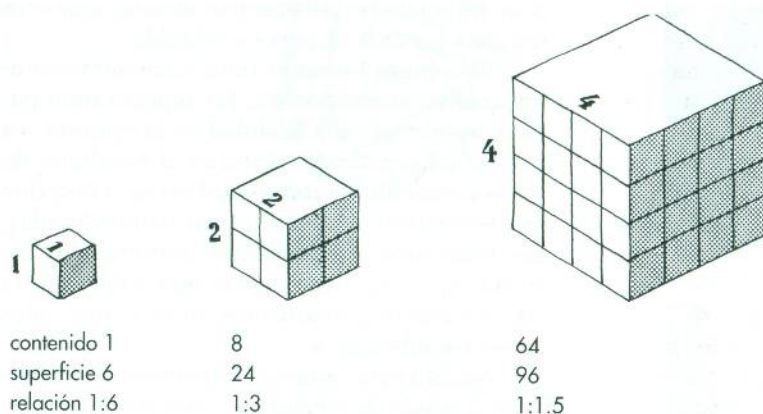
Debe añadirse que la redistribución de la forma de un volumen dado no reducirá *per se* las tensiones térmicas totales en más de un 10 %.

EFFECTOS REGIONALES EN FORMAS EDIFICATORIAS DE GRAN TAMAÑO

En aquellos emplazamientos donde existe una libertad espacial, es posible proyectar la forma más indicada para satisfacer las demandas de una vivienda. Sin embargo, en edificaciones de gran tamaño existen otros factores que juegan un papel más importante en la definición de la forma, estos pueden ser: la lógica de la circulación, la necesidad total del espacio, la economía y la organización. El edificio, como envolvente de la actividad de un grupo de acciones específico, expresa estas fuerzas internas, otorgando menor consideración a las tendencias formales de elementos climáticos externos. Sin embargo, es posible establecer algunos principios generales para grandes construcciones.

En *zonas frías* las formas cerradas y compactas con una proporción más cuadrada, o plantas con doble exposición ("detras y detrás") orientadas según un eje norte-sur son las más apropiadas, debido a su relativa forma cúbica. Por el contrario, las formas alargadas no resultan convenientes. En estas regiones la presión ambiental favorece la edificación en altura.

En las *regiones templadas* es donde se da la menor cantidad de tensión para cualquier direc-



175. Efecto volumen.

ción específica. Este tipo de clima es el más benigno para las edificaciones, permitiendo una considerable libertad en la definición de las formas; sin embargo, formas alargadas orientadas según un eje este-oeste son las más favorables.

En las *regiones cálidas-áridas*, las formas macizas son las más apropiadas. Las cúbicas, o aquellas ligeramente alargadas según el eje este-oeste pueden adaptarse correctamente. Son preferibles las edificaciones en altura.

En las *regiones cálidas-húmedas* las construcciones alargadas según un eje este-oeste son las más apropiadas. Los edificios emplazados en el eje norte-sur reciben un mayor impacto negativo del que percibirían en cualquiera de las otras zonas climáticas.

MORFOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS URBANAS

El modelo de "tejido" de un desarrollo urbano es una síntesis de la interacción de numerosos factores. Su organización refleja las tendencias políticas y sociales, así como los requerimientos materiales y técnicos. Con todos esos factores

formales emergiendo unidos en una sola composición, resulta difícil analizar por separado el entorno climático como un elemento único.

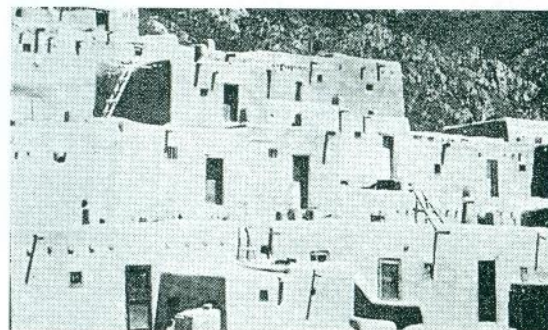
Es posible encontrar en un trazado urbano las mismas características y tendencias que han influido en la determinación de las tipologías edificatorias. Debido a que las fuerzas que inciden son las mismas, el resultado no consiste en una aglomeración de edificaciones de diferente forma, sino el reflejo, a gran escala, de las tendencias constructivas. La densidad de una trama urbana variará según las condiciones climáticas, ya sean éstas adversas o amables.

En un *ambiente frío* la trama urbana intenta proporcionar protección contra el viento. Los edificios se agrupan en grandes unidades, dejando espacios libres entre ellos para aprovechar los efectos beneficiosos del sol. Las viviendas tienden a juntarse para exponer la menor superficie posible y así impedir la pérdida de calor. La estructura urbana es una *trama densa*.

En las *zonas templadas*, la planta de distribución de las viviendas es abierta, la naturaleza y las viviendas se integran. La estructura urbana aprovecha las posibilidades de trazado *libre*.



176. Poblado árabe de Metameur, Túnez.

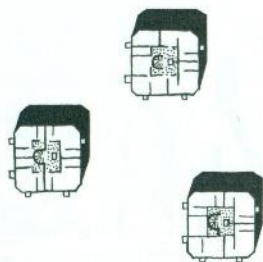


177. Poblado indio de Taos, Nuevo México. Versión nativa de la utilización del volumen.

En las *regiones áridas y calientes* los muros de las casas y los jardines proporcionan sombra a la calle y a las zonas de actividad diurna, al igual que si se tratara de un toldo o elemento de sombra. Las viviendas unifamiliares se organizan alrededor de un patio interior que hace las veces de pozo refrescante, y se agrupan una junto a otra para conseguir, con el volumen generado, una mayor protección térmica. En este caso, la trama urbana se defiende del calor formando una *densa estructura* que proporciona sombra.

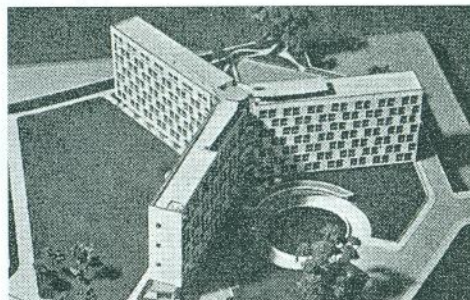
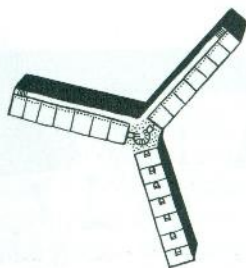
En las *regiones cálidas y húmedas* los edificios se desarrollan libremente, y esta libertad se refleja y acentúa en su aspecto más urbano. Las viviendas se separan para aprovechar el

ZONA FRÍA



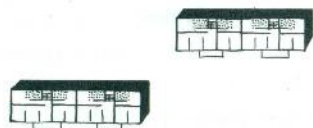
178.
Backstrom &
Reinius,
Estocolmo

ZONA templada



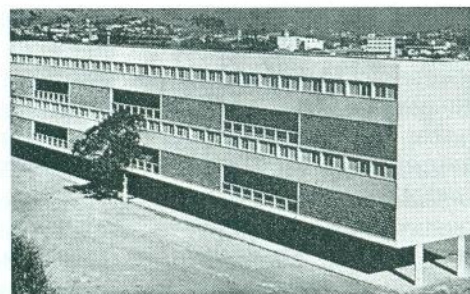
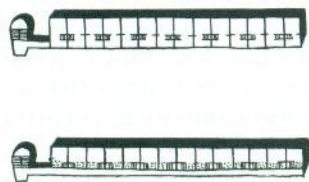
Skinner, Baily &
Lubetkin,
Finsbury

ZONA CÁLIDA Y ÁRIDA



Zehrfuss, Turus

ZONA CÁLIDA Y HÚMEDA



Reidy,
Pedregulho

movimiento del aire, los árboles que proporcionan sombra se convierten en elementos muy importantes. El entorno urbano adquiere un carácter más *disperso* y relajado.

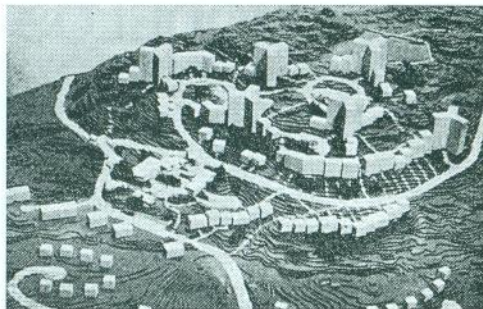
El refugio humano tiene una fuerte interrelación con su entorno. Su aspecto final parece simple, pero la realidad es la opuesta, ya que su propia composición es el resultado de la coordinación de innumerables acciones que se encuentran necesariamente subordinadas. Las leyes fundamentales que dominan sus características son las mismas que gobiernan la adaptación de organismos minúsculos tales como las moléculas.

No importa cómo enfoquemos esta cuestión –a través de consideraciones matemáticas, fisiológicas, etc., o por experiencias acumuladas tradicionalmente– la respuesta siempre será la misma: en los lugares donde la naturaleza es amable, las formas construidas se comunicarán fluidamente con el ambiente natural e intentarán fusionarse con él; mientras que, bajo influencias adversas, cierran sensiblemente sus superficies e intentan mantener el equilibrio mediante la vida en el interior.



ZONA FRÍA

Hockaraegen, Estocolmo

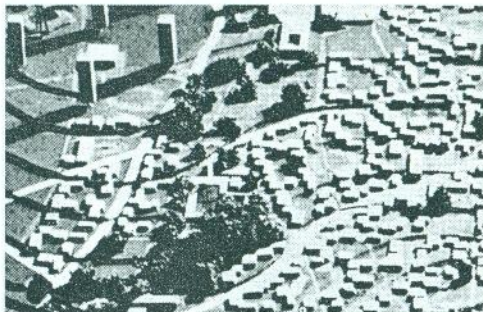


179.
Gegenbach, Kolsdal, Norurega.

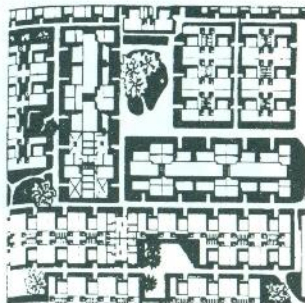


ZONA TEMPLADA

Furno & Harrison, East Norwich, L.I., N.Y.

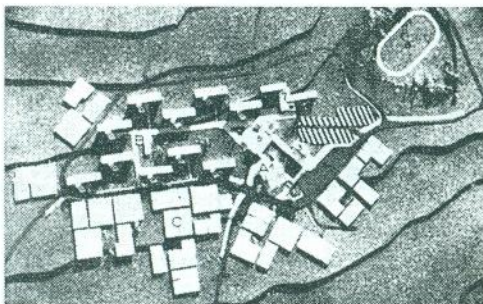


Plan urbanístico de la ciudad de Stevenage, Inglaterra.



ZONA CÁLIDA Y ÁRIDA

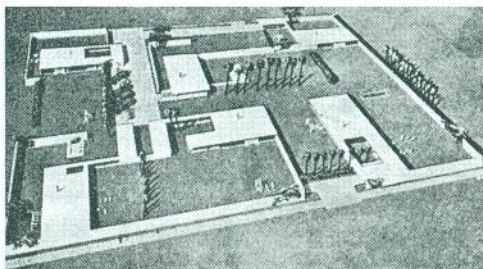
Wiener & Sert, Chimbote, Perú



Tasteman, Marruecos.



ZONA CÁLIDA Y HÚMEDA Olgyay & Olgyay



Casa Rudolph Revere, Florida.

IX. EFECTOS DEL VIENTO Y MODELOS DE FLUJO DEL AIRE

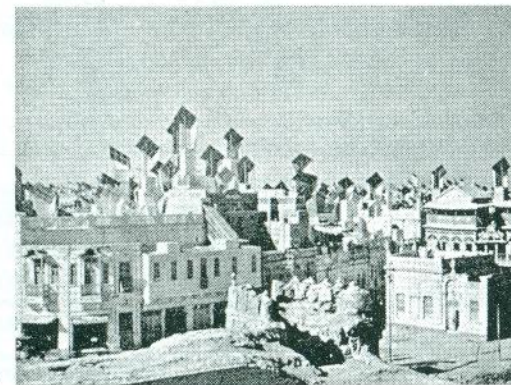
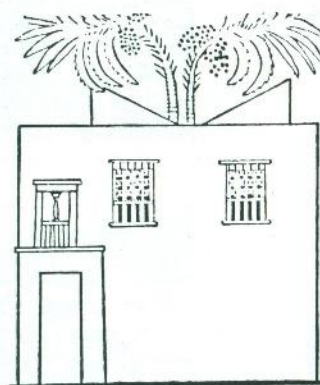
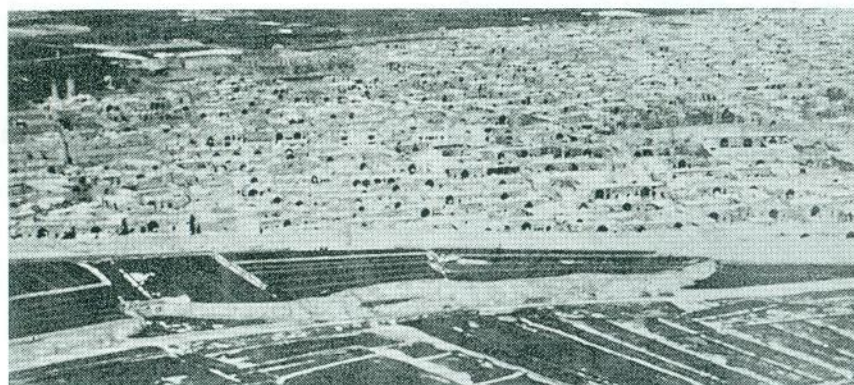
VIENTO Y ARQUITECTURA

La desigual distribución del calor producido por el sol sobre la superficie terrestre produce variaciones en la densidad de la masa atmosférica. El aire que emerge de la zona ecuatorial desciende unos 30° de latitud aproximadamente, una vez allí, es empujado hacia el sur y hacia el norte hasta alcanzar el flujo polar. Este sistema de flujos en movimiento debido a la rotación de nuestro planeta, se complica aún más con la inclinación del eje terrestre,

viento, la regla general consiste en buscar la menor exposición posible y establecerse en los lugares más protegidos. Agruparse buscando protección es el motivo por el cual los pueblos de los Alpes suizos son tan compactos. Las caras expuestas a la intemperie se protegen especialmente, como es el caso de los "tavaillons" en la sierra del Jura. En las zonas climáticas calurosas, la ventilación tiene una importancia relevante como remedio contra las altas temperaturas y humedades. Las tramas urbanas de la costa mediterránea de África muestran una red

Charge dan a los pueblos persas un característico aspecto arquitectónico, al igual que el pueblo de Hyderabad, situado en el valle del Indo, en cuya extraña silueta pueden apreciarse los conductos de ventilación y las chimeneas que emergen de los tejados.

Estos ejemplos hacen referencia a condiciones predominantemente frías o calientes. Sin embargo, en la mayoría de las zonas prevalecen los períodos variables, por lo tanto es necesario realizar un análisis adecuado y esmerado de cada lugar.



180, 181, 182. Elementos para capturar las brisas en las zonas calurosas del norte de África, Egipto y Pakistán.

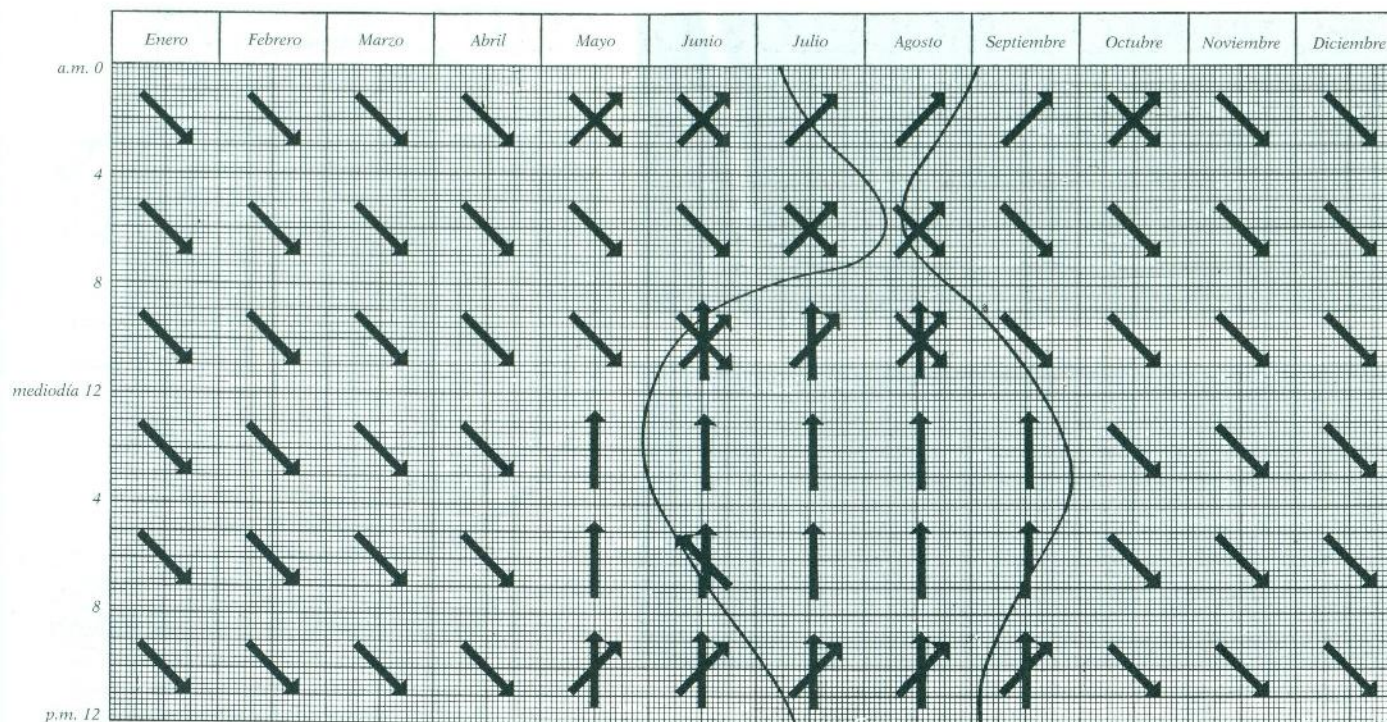
dando origen a las diferentes estaciones. Asimismo, la también desigual distribución de continentes y océanos causa asimismo distorsiones en los diferentes cinturones atmosféricos de presión. Y, por último, las características geográficas otorgan peculiaridades locales a los vientos predominantes.

En el pasado, los constructores utilizaban medidas protectoras contra los inoportunos efectos del viento, y organizaban las distribuciones para intentar aprovechar sus beneficios. En aquellas zonas ampliamente barridas por el

viaria que lleva el frescor de la brisa marina hacia el corazón de la ciudad.¹ Las viviendas persas orientan sus grandes aberturas, los "iwanes", en la dirección de los movimientos benéficos del viento.² En España y la India, el empleo de ligeras celosías permite el paso de la brisa refrescante hacia el interior de la vivienda y juega un papel muy similar al de los porches en zonas más occidentales. Las agrupadas casas egipcias se ventilan a través del techo con los denominados "mulguf", que capturan las corrientes de aire. Las torres de ventilación de

ANÁLISIS DEL VIENTO

Los movimientos favorables del aire deben utilizarse para refrescar durante las épocas calurosas y como alivio en aquellos períodos en que los valores de humedad absoluta son muy altos. Por el contrario, los movimientos del aire deberán bloquearse o evitarse durante el tiempo frío. La valoración de los movimientos del aire la proporciona un análisis bioclimático de la región (capítulo III), el cual divide el año en dos períodos, el frío y el cálido, y define las exigencias del confort.



183. Análisis regional del viento.

Antes de investigar las posibles distribuciones que proporcionarán protección contra el viento, es necesario tener en cuenta la orientación del edificio.

FACTORES LOCALES SEGÚN LA ORIENTACIÓN DEL VIENTO

La adaptación a la orientación de los vientos no constituye un aspecto relevante en edificios de poca altura, en los cuales el empleo de barreras contra el viento, la disposición de las aberturas en las zonas de alta o baja presión y el efecto direccional de elementos de control en las ventanas pueden mejorar la situación del flujo de viento. Sin embargo, para construcciones altas, tales como edificios de viviendas, de oficinas y hospitales, que no disponen de aire acondicionado –y

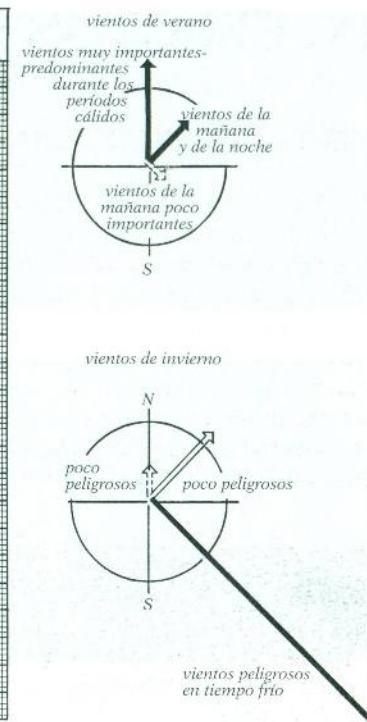
donde el terreno circundante tiene muy poco efecto en las plantas superiores– deberá tomarse muy en consideración la orientación en relación al viento. Con objeto de valorar los efectos específicos del viento en las condiciones humanas de confort, se han analizado las condiciones anuales y mensuales predominantes de la velocidad y la temperatura del viento según su dirección.

El Departamento de Planificación de Baltimore, Maryland, desarrolló un estudio muy preciso al respecto, en el cual la orientación solar se modificó al aplicar los factores de viento específicamente locales. A continuación se describe abreviadamente el método desarrollado por I. S. Wiener, en ese estudio.³ Para la evaluación, son necesarios tres tipos de datos:

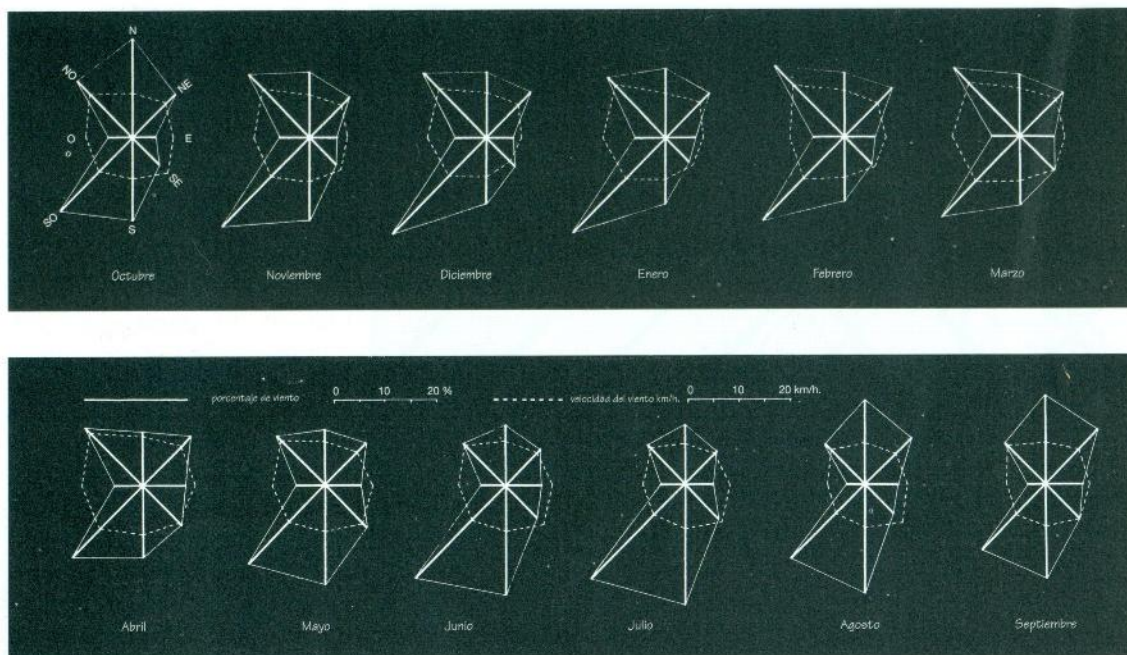
1. Frecuencia de los vientos en términos de porcentaje de tiempo

2. Velocidad en km/h.
3. Características generales tales como brisas cálidas o frescas.

En la gráfica se muestran las características mensuales de los vientos predominantes y su velocidad para cada una de las ocho orientaciones principales. En gráficos separados se ilustran las frecuencias medias, las velocidades y las direcciones. Esto permite una fácil interpretación de la importancia relativa de los vientos predominantes en relación con su dirección, frecuencia y velocidad. En las evaluaciones, las brisas favorables se han categorizado como movimientos del aire que suceden cuando las temperaturas superan los 23,9 °C. En este caso, el período cálido se ha situado entre final de mayo y mediados de septiembre. Por el contrario, los movimientos del aire se han considera-



184. Vectores resultantes del viento.



185. Superficie de los vientos: frecuencia de las direcciones y velocidad media.

do como desfavorables durante los períodos fríos y transicionales, es decir desde comienzos de noviembre hasta principios de marzo.

El método para modificar la orientación respecto al sol a partir de los resultados de los factores del viento tiene tres fases: (A) recogida y evaluación de los datos acerca de los efectos producidos por los factores del viento; (B) recogida y evaluación de los datos de la orientación solar; (C) orientación definitiva a partir de los datos combinados de sol y viento.

PASO A: las frecuencias medias (P) y las velocidades (V), se tabulan de acuerdo con el promedio de las puntas invernales y los meses de verano. El análisis de los datos asume que en el invierno todos los vientos son desfavorables y, como consecuencia, su valor es inferior; mientras que en verano son favorables y su valor es mayor. Las mediciones resultantes del viento (W_s) provienen de la modificación del volumen del viento (PV) en relación con sus pro-

piedades térmicas. Los coeficientes térmicos variables (C_{Th}) del viento se agrupan según las siguientes categorías:

Características térmicas en invierno	Medio	Frío	Muy frío
Coefficiente térmico (C_{Th1})	1,00	1,25	1,50
Características térmicas en verano	Medio	Cálido	Caluroso
Coefficiente térmico (C_{Th2})	1,00	1,25	1,50

Los datos de invierno (W_{s1}) y verano (W_{s2}) se computan separadamente según su dirección, y a continuación se añaden para conseguir el neto anual según su dirección:

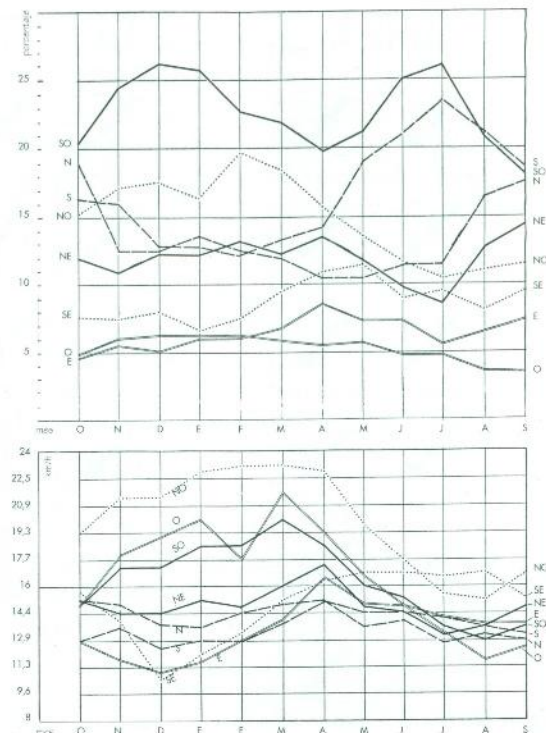
$$W_{st} = W_{s1} + W_{s2}$$

Dicha ecuación puede escribirse completamente detallada así:

$$W_{st} = -(P_1 V_1 C_{Th1}) + \left(V_2 \frac{V_2 C_v}{P_2} \right) \left[\frac{P_2 V_2}{P_2 \left(V_2 - \frac{V_2 C_v}{P_2} \right)} \right] + C_{Th2}$$

donde:

- P_1 = Frecuencia invernal media
- P_2 = Frecuencia estival media
- V_1 = Velocidad media en invierno
- V_2 = Velocidad media en verano
- C_{Th1} = Coeficiente térmico de invierno
- C_{Th2} = Coeficiente térmico de verano
- C_v = Coeficiente de velocidad variable



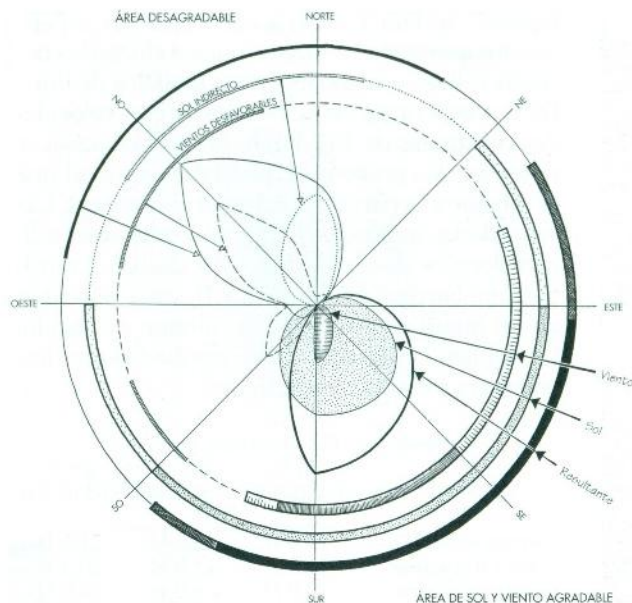
186. Promedio mensual del porcentaje de viento medido en tiempo y dirección.

187. Promedio mensual de la velocidad del viento en función de la dirección.

Los datos absolutos conseguidos se expresan en porcentajes.

PASO B: Recogida y evaluación de los datos de la orientación solar según su dirección. La conveniencia de la orientación solar puede estar determinada, según su dirección, como alta o baja (+100 y -100, respectivamente), de acuerdo con las características de una zona climática dada. Los datos de la orientación solar (S_s) en las diferentes direcciones, para la zona de Baltimore son los siguientes:

Dirección	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Verano (S_s)	-100	0	+50	+100	+100	+50	0	-50



188. Gráfico sinóptico de la orientación para Baltimore.

PASO C: Orientación definitiva a partir de los datos combinados de sol y viento. Con objeto de determinar los datos finales de la orientación deberán evaluarse la importancia relativa de los factores del viento y del sol. En este caso particular los datos solares se han considerado como el doble de los correspondientes al viento. (Desde el punto de vista de la orientación, el factor solar ganará mayor importancia en las regiones nórdicas y perderá parte de la misma en las zonas tropicales –siempre y cuando exista la sombra adecuada).

Los datos resultantes absolutos de la orientación (R_{sa}) serán:

$$R_{sa} = \frac{W_{st} C_w}{S_s}$$

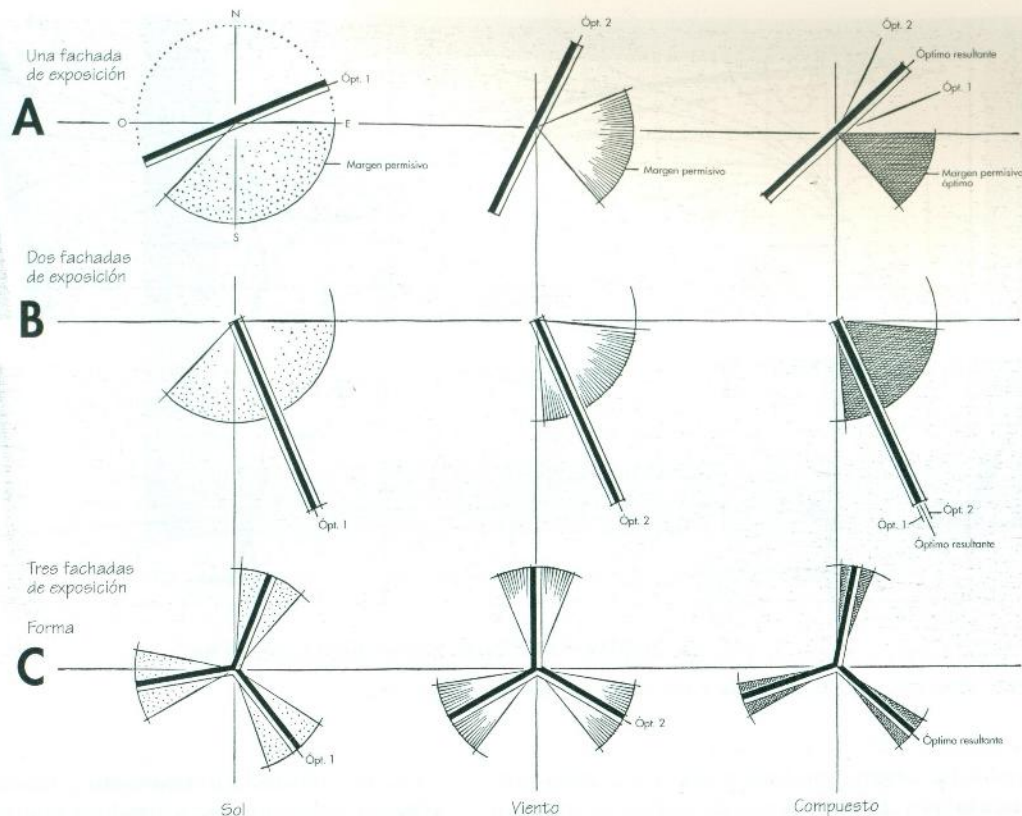
donde:

W_{st} = Datos resultantes del viento

S_s = Datos solares

C_w = Coeficiente de importancia del viento (aquí se toma 0,5)

Los datos resultantes se expresan entonces según porcentajes.



189. Aplicación del método en tres tipos de edificio diferentes en Baltimore.

Para aplicaciones prácticas se ha realizado un cuadro sinóptico en el cual se muestran los sectores relativamente más convenientes o desfavorables en términos de viento, sol y demás datos resultantes. El principio general de aplicación de dicha gráfica a casos específicos, implica la superposición de los rangos óptimos y permisivos de orientación para los factores solar y de viento respectivamente. Los rangos superpuestos determinarán el ámbito resultante de orientación.

Se muestra la aplicación del método en Baltimore para tres edificatorios diferentes tipos:

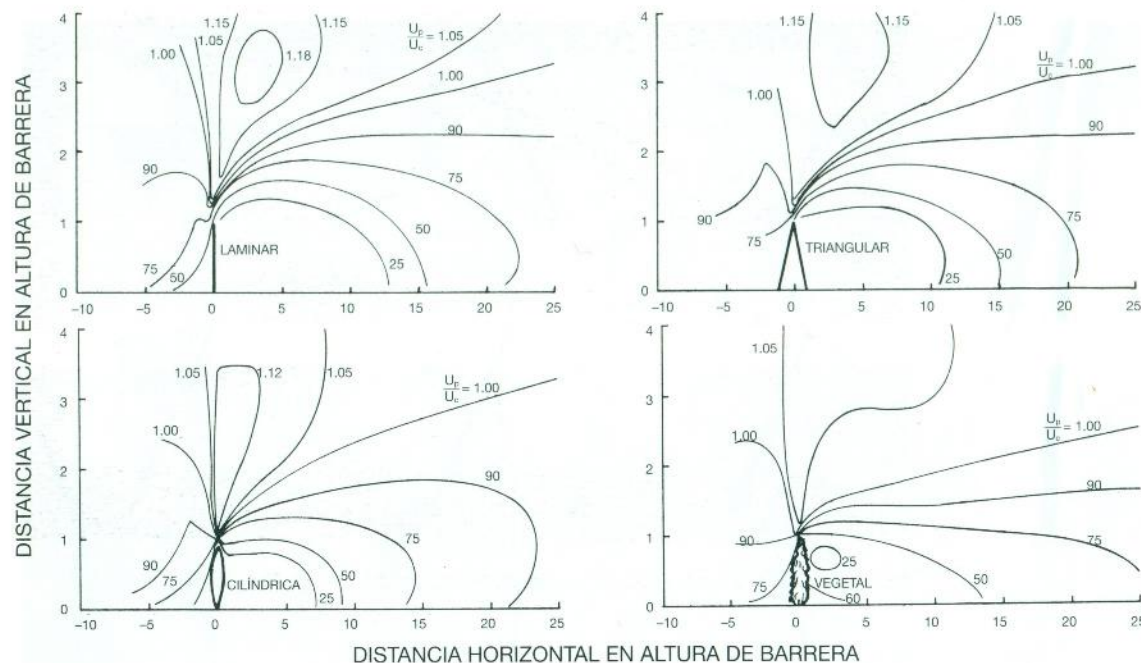
- Exposición en uno de los lados del edificio.
- Exposición en dos de los lados del edificio.

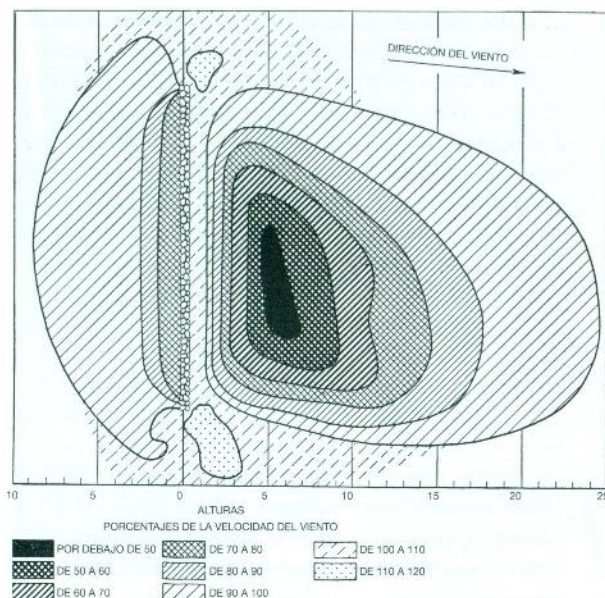
- Exposición en tres de los lados de un edificio en forma de Y.

El método descrito puede aplicarse a otras localidades, adecuándolo según sus condiciones climáticas específicas.

ELEMENTOS PROTECTORES DEL VIENTO

No es posible alterar el movimiento de las grandes masas de aire si está producido por diferencias en la presión del aire. Sin embargo, es posible controlar, hasta cierto punto, la velocidad del aire cuando se mueve a nivel del





191. Campo efectivo de protección de un cortavientos.

sus efectos en la calefacción de la vivienda. La relación funcional general entre la potencia de calefacción, la velocidad del viento, la diferencia de temperatura en la vivienda y el emplazamiento de la misma, se expresa según una ecuación de tres variables⁶

$$\frac{Q}{T_{\Delta}} = 1,3 (10^{0,018L,0,07u})$$

donde:

Q = Carga calorífica en kcal por hora

T_Δ = Diferencia entre temperatura exterior e interior en °C

L = Distancia desde la barrera hasta la vivienda en alturas de barrera H

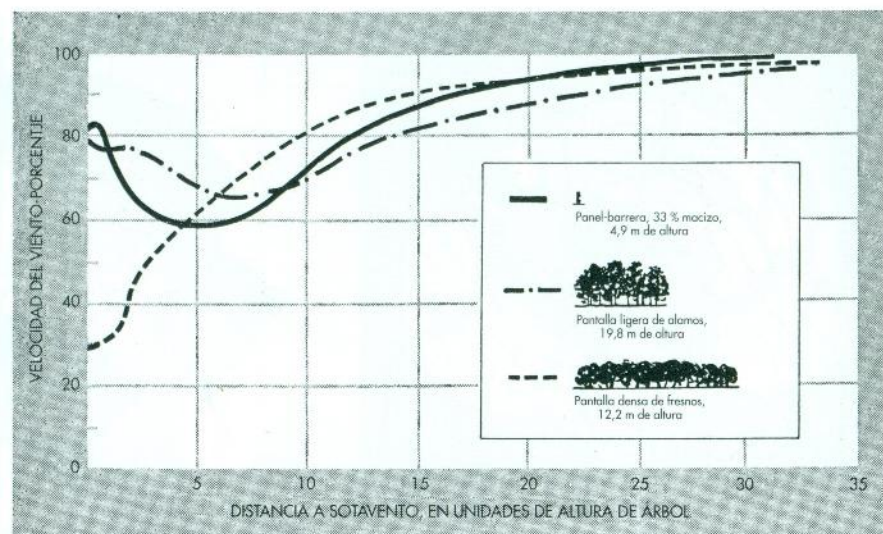
u = Velocidad del viento en km/h

Los cálculos indican⁷ que la carga calorífica necesaria para abastecer a una vivienda desprotegida y sometida a vientos con una velocidad de 32 km/h, es aproximadamente 2,4 veces mayor que la que debe aportarse a una que se encuentra bajo las mismas condiciones de temperatura y sujeta a vientos con velocidades

de 8 km/h. Esto demuestra que la eficacia de las barreras protectoras aumenta a medida que aumenta la velocidad del viento.

El Centro Experimental de Lake States Forest realizó en el estado de Nebraska diversas pruebas con dos casas experimentales idénticas.⁸ Una de ellas se expuso a los vientos y la otra se mantuvo protegida de los mismos. El registro exacto del gasto de combustible permitió la posibilidad de calcular el ahorro. Bajo una temperatura constante de la vivienda a 21,1 °C el combustible ahorrado en la casa protegida fue del 22,9 %. Con una protección adecuada en tres lados de la casa puede estimarse que el ahorro de combustible podría haber alcanzado el 30 %.

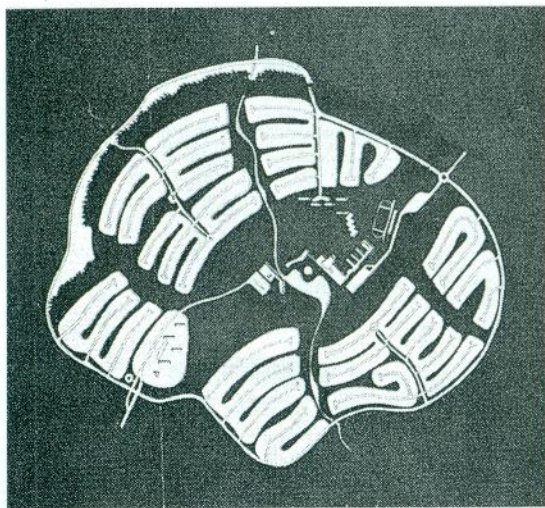
En su estudio acerca de las barreras protectoras existentes, los Servicios forestales de Estados Unidos elaboraron una lista las tipologías de árboles generalmente utilizados.⁹ Debido a que, desde el punto de vista arquitectónico, los árboles de hoja perenne son de particular interés para la protección invernal, este listado recoge solamente las plantas coníferas.



192. Análisis de la velocidad del viento en tres tipos diferentes de barreras.

En estas dos gráficas se ilustra el efecto de sombra-viento producido por los elementos protectores. La Estación Experimental de los bosques de Lake States realizó también una lista de los patrones de distribución de la velocidad horizontal.¹⁰ Los cortavientos laminares se construyeron con paneles de 15,24 cm, espaciados cada 30,5 cm en la mitad inferior y cada 8 cm en la superior, para proporcionar una resistencia similar a la de árboles adultos con pocas ramas cerca del suelo. Los vientos se midieron a 40,6 cm por encima del suelo, con velocidades libres de 20,8 km/h. La velocidad mínima fue del 47 % y se midió a cinco unidades de altura de barrera a partir de la misma. Con densidades mayores a nivel de suelo el punto mínimo se acerca a este dato.

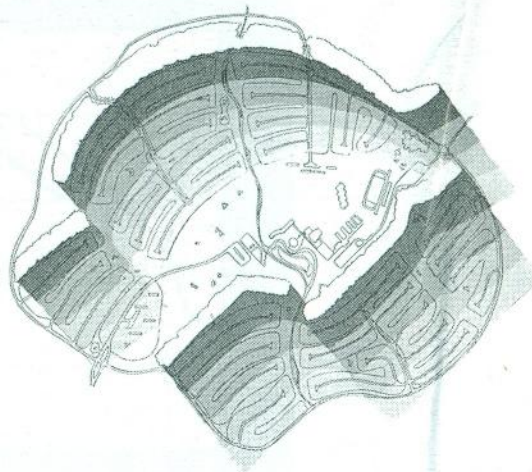
El segundo gráfico muestra la zona de modelos de influencia para tres tipos de cortavientos, registrados a 40,6 cm del nivel de suelo con velocidades de viento de 24 km/h soplando en ángulo recto respecto a las barreras. Estas observaciones fueron realizadas por



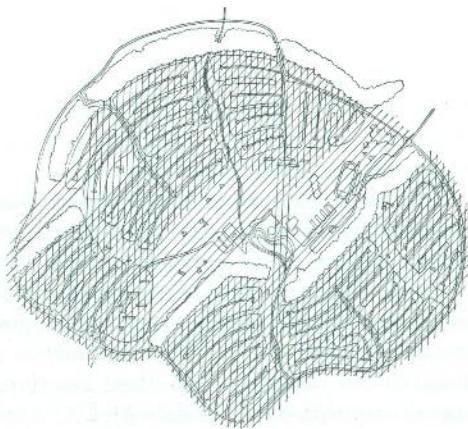
193. Ordenación de un conjunto residencial en la zona de Nueva York-Nueva Jersey.

J.H. Stoeckeler y R.A. Williams.¹¹ Nótese que la velocidad del viento cerca de una banda densa de fresnos puede reducirse al 30 %; en el caso de una barrera más fina, constituida, por ejemplo, por plantas de algodón, podrá reducirse al 66 %; para una barrera panelada la reducción máxima será del 58 %. Los tres elementos protectores producen el mismo efecto a 30 veces su altura, no obstante, dicho efecto disminuye al sobrepasar las 20H.

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL VIENTO PARA ORDENACIONES RESIDENCIALES. La primera consideración a tener en cuenta para definir el emplazamiento de los elementos de protección tiene relación directa con el objeto o el área a proteger. Estos principios se han aplicado en este estudio a una agrupación residencial situada en el área de Nueva York-Nueva Jersey. Este conjunto residencial se compone de cuatro colonias residenciales con 1200 habitantes cada una, reunidas alrededor de un área central que contiene un equipamiento comercial, administrativo, cultural, deportivo y recreativo. Las densas bandas de árboles perennes, plantadas al noroeste de dicha zona residencial, bloquean



194. Efecto protector en invierno.



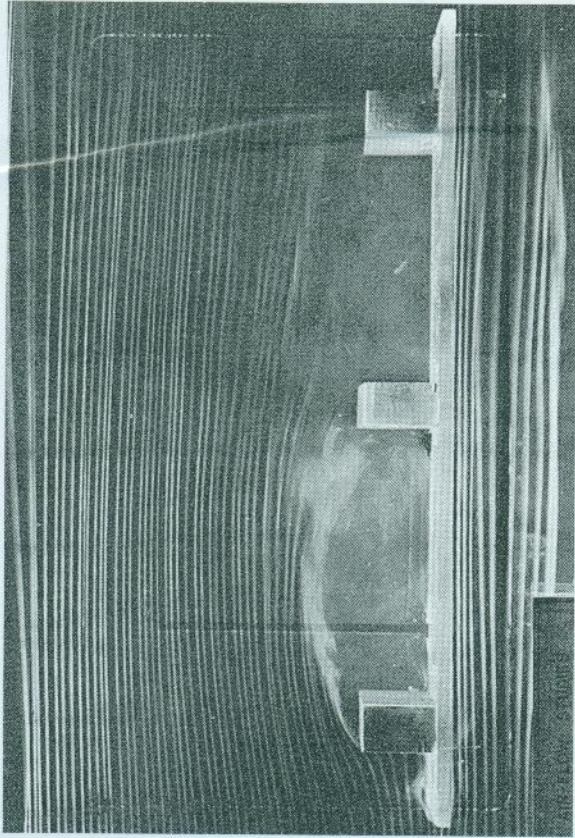
195. Penetración de la brisa veraniega.

los vientos invernales procedentes de esta dirección. En el gráfico se indican las sombras de viento, con diferentes intensidades según su porcentaje de protección. Las calles del noroeste se encuentran protegidas de las posibles corrientes de aire que puedan incidir. En verano, sin embargo, los vientos son más favorables. Las calles se orientan hacia el sur y suroeste (di-

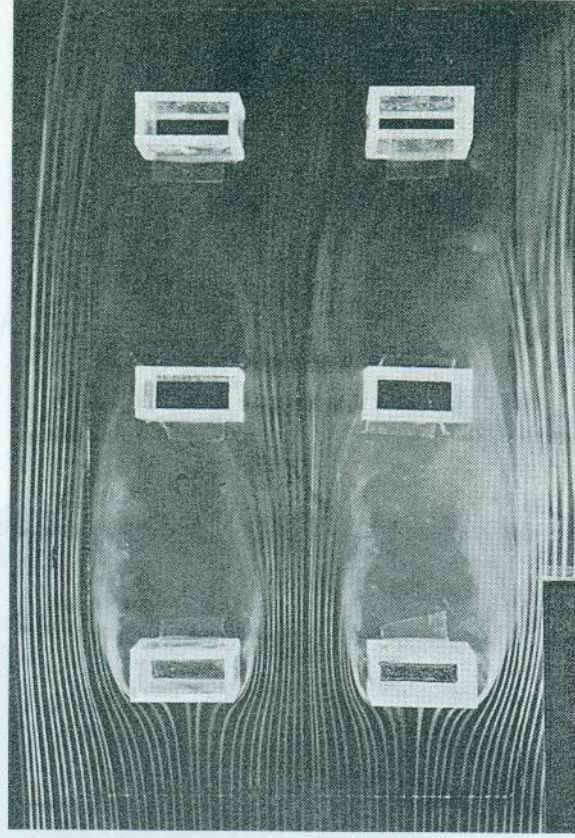
rección en la cual predominan las brisas veraniegas), y penetran hacia el interior del asentamiento tanto como se lo permita la planificación y los problemas de tráfico existentes. Debido a que se considera de primordial importancia la protección contra los efectos del viento invernal y la necesidad de ventilación durante el verano de las viviendas unifamiliares situadas próximas a la periferia, el área central de la ordenación se deja libre para el desarrollo de la zona comunitaria.

DIRECCIÓN DEL VIENTO Y ORDENACIÓN RESIDENCIAL. Los edificios que se colocan perpendicularmente a la dirección de los vientos reciben en su fachada de mayor exposición el impacto total de la velocidad. Si se sitúan a 45° la velocidad del viento se reduce un 50 %; algunos cálculos aplican el 66 % como factor de corrección. Las construcciones en hilera, espaciadas entre sí una distancia equivalente a siete veces su altura, aseguran un nivel de ventilación satisfactorio para cada unidad. No obstante, el viento tiende a dar "saltos de rana" a lo largo de distribuciones en bandas paralelas de edificación. Los edificios diseñados en hilera proyectan una sombra de viento sobre las unidades siguientes, lo cual se ve reforzado por su tendencia natural a moverse a través de los espacios libres. La disposición sinuosa de las unidades aprovecha el modelo de saltos del viento, ya que unas dirigen el movimiento del aire a las siguientes bandas. Nótese que la dirección del flujo de aire es perpendicular a la tercera hilera de viviendas. La primera tipología permite evitar los efectos del viento en invierno, el segundo modelo asegura una distribución equitativa de las brisas veraniegas. Debido a que generalmente las ventiscas invernales y las brisas de verano no provienen de la misma dirección, es posible satisfacer ambas condiciones.

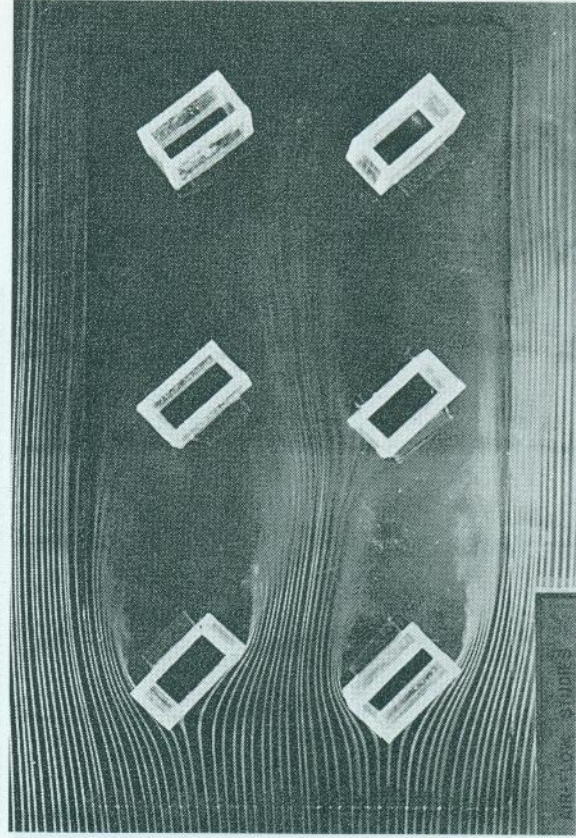
EFFECTOS DEL ENTORNO AMBIENTAL ADYACENTE SOBRE LAS EDIFICACIONES. El entorno inmediato que rodea las construcciones de baja altura ejerce una acción determinante tanto en los



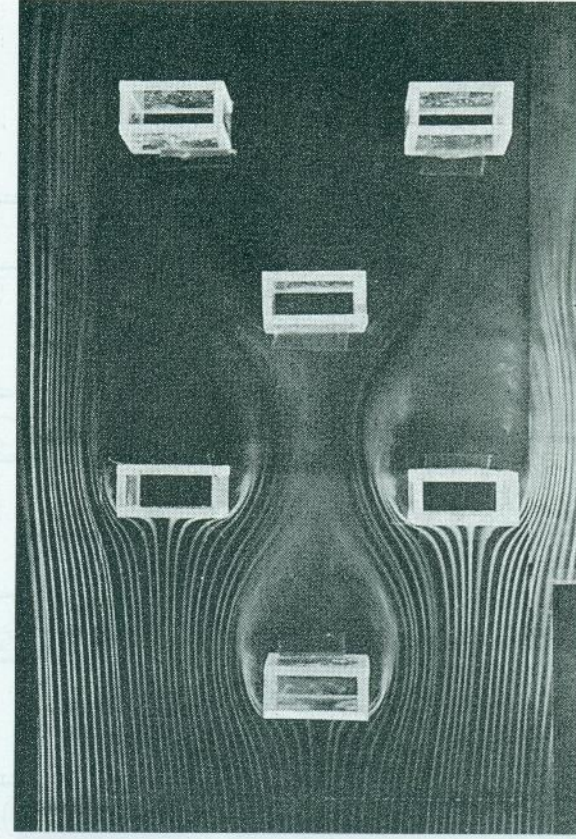
196. Efecto sombra de la incidencia del viento con una ordenación de edificaciones en hilera.



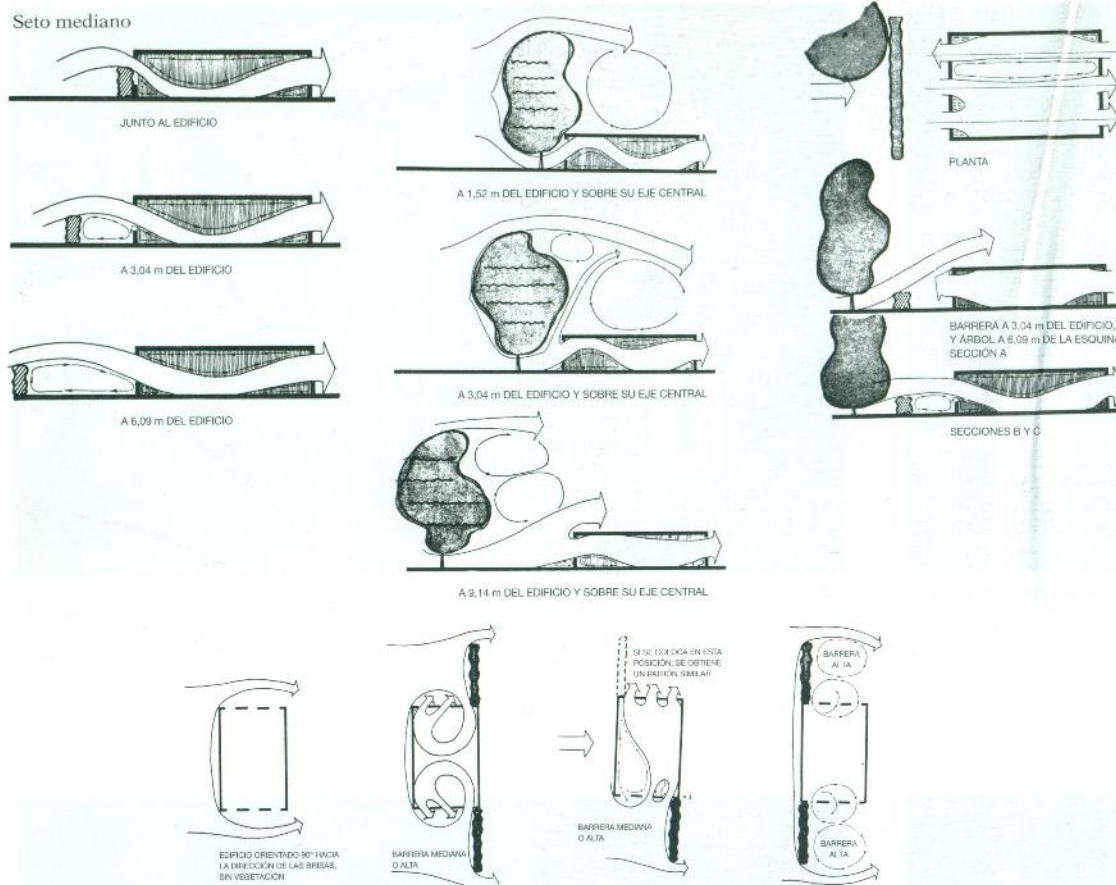
197. Protección del viento con una ordenación lineal de viviendas.



198. Efecto de protección del viento en a partir de la posición de los edificios.



199. Aprovechamiento de las brisas veraniegas.



200. Modificación del modelo de movimiento del aire por medio del paisajismo.

modelos como en las velocidades del viento. Este factor libera hasta cierto punto a la edificación de los requerimientos rígidos de la orientación. Los elementos del diseño paisajístico, que incluyen materiales vegetales tales como árboles y arbustos, o muros y vallas, pueden crear zonas de baja presión alrededor de las viviendas dependiendo de sus aberturas. Debe tenerse especial cuidado en la distribución de los mismos, de forma tal que no bloqueen las brisas refrescantes durante los períodos cálidos; la plantación debe diseñarse para dirigir y acelerar los movimientos favorables del aire hacia el edificio.

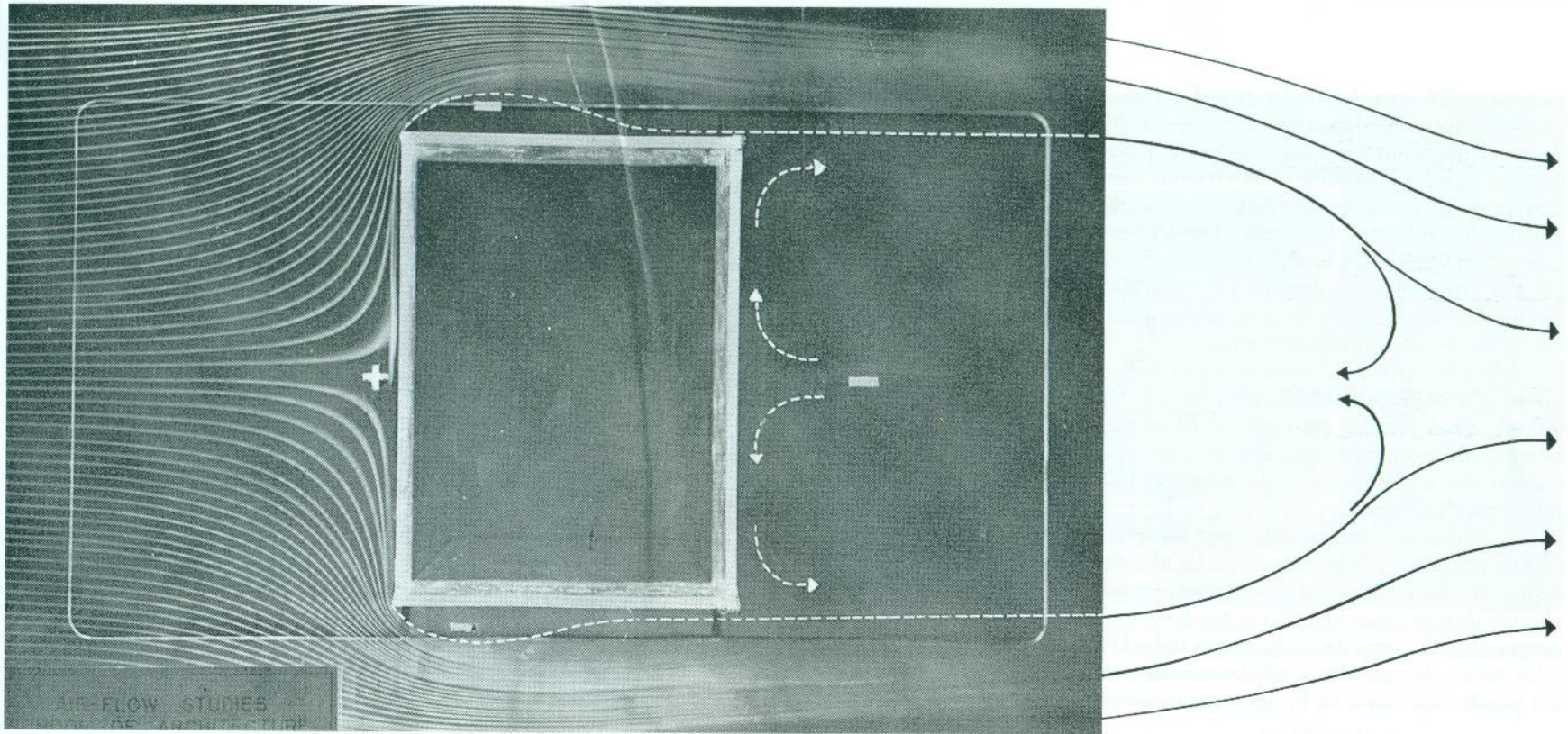
En el Centro de Ingeniería experimental de Tejas se han realizado estudios de campo y maquetas experimentales utilizando diversas combinaciones de plantación para analizar las modificaciones que sufren los modelos de flujo del aire. En las figuras se ilustran algunas de las observaciones obtenidas por Robert F. White.¹² En ellas se muestra el efecto producido sobre el modelo de aire interno por un seto mediano situado tanto cerca como lejos de la construcción. La masa de follaje de los árboles bloquea el paso del aire, originando, como consecuencia, un incremento de la velocidad del aire que pasa directa-

mente por debajo. También se ilustran el efecto producido por un árbol de 9 m de altura con una copa de 7,6 m de ancho y 1,5 m por encima del nivel del suelo, sobre los patrones de flujo, así como el efecto producido por la combinación de árbol y seto. Si el seto se coloca cerca del edificio, el flujo de penetración experimentará una modificación muy acentuada. En las secciones B y C el modelo fluiría de forma convencional, mientras que en la sección A la corriente de aire desviada hacia arriba, por efecto de los árboles, producirá una corriente de retorno en el edificio. El efecto direccional de los setos en los modelos de movimiento del aire se ilustra con dos ejemplos. Si se colocan barreras protectoras en uno o dos lados de un edificio, a sotavento, la presión originará movimientos de aire en el interior de la construcción.

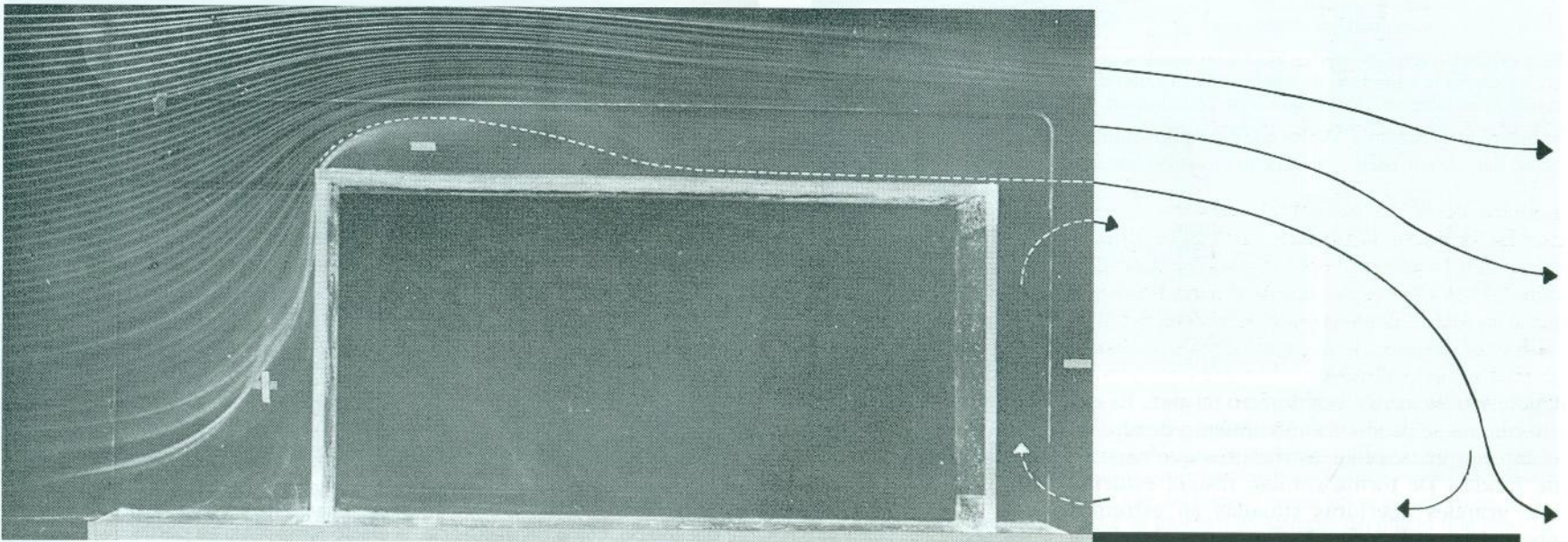
MODELOS DE FLUJO DE AIRE EN EL INTERIOR DE LOS EDIFICIOS

Las fuerzas que proporcionar la ventilación natural en la edificación pueden agruparse según las siguientes categorías: 1, movimientos del aire producidos por diferencias de presión; 2, intercambio del aire por diferencia de temperatura. Ambas fuerzas pueden actuar solas, en conjunto o en oposición, siempre dependiendo de las condiciones atmosféricas y del diseño del edificio.

VENTILACIÓN PRODUCIDA POR LAS FUERZAS DEL VIENTO. Una vivienda situada en una corriente de aire disminuye la velocidad del mismo y lo acumula en su lado más expuesto, originando un área de presión relativamente alta. El movimiento de aire que rodea una edificación crea zonas de baja presión en los lados adyacentes a la fachada de mayor exposición. A sotavento se producirá una zona de sombra de viento con baja presión. Esta sombra de viento se llenará de aire gradualmente, de forma tal que, a una distancia aproximada del doble de la altura del edificio, el aire se encuentra en reposo. A partir de allí, y fluyendo hacia y desde el edificio, el vien-



201. Modelo de movimiento del aire alrededor de un edificio.



202. Modelo de movimiento del aire en la sección de un edificio.

to recuperará su velocidad original a una distancia de aproximadamente siete veces la altura de la construcción. Los modelos de movimiento del aire creados alrededor de la vivienda vienen determinados por la geometría de la edificación y son independientes de la velocidad del viento. La sección vertical del modelo de viento es similar a la envolvente mostrada en estos gráficos, donde los signos positivos y negativos indican las zonas de altas y bajas presiones.

Las diferencias de presión en el lado expuesto y a sotavento contribuyen al movimiento de aire en el interior del edificio. El emplazamiento de aberturas es más eficaz si se colocan las entradas en las zonas de alta presión y las salidas en las de baja. La proporción de intercambio de aire se encuentra regida por las diferencias de presión y por la eficacia de las aberturas expuestas. La proporción aproximada de intercambio de aire, cuando la dirección del viento es perpendicular a una de las fachadas del edificio y las zonas de entradas y salida son equivalentes, puede expresarse de la siguiente manera:¹³

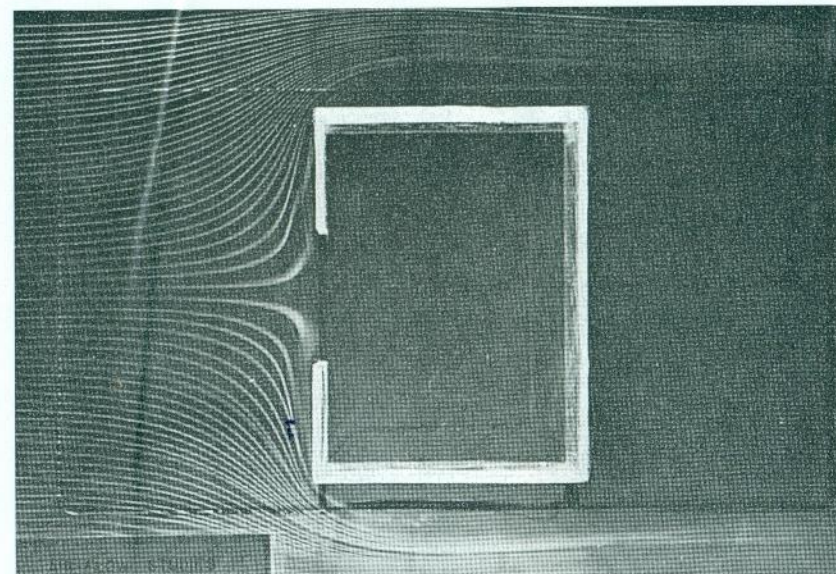
$$Q = 3150 AV$$

donde Q = promedio de flujo de aire, m^3/h
 A = área de entradas, m^2
 V = velocidad del viento, km/h

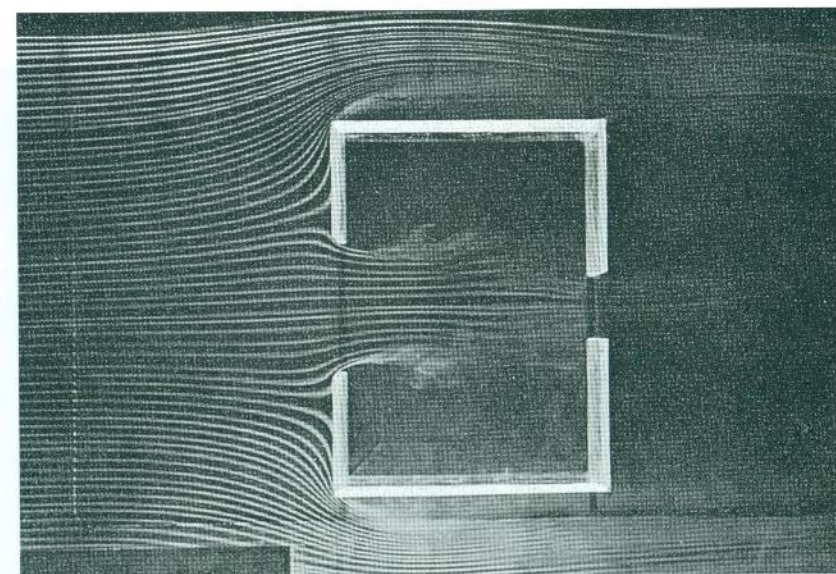
Esta expresión requiere ciertos ajustes en aquellos casos en los cuales la superficie de salidas muestra una diferencia apreciable en relación con la de entradas, así:

Superficie de salidas Superficie de entradas	Valor que deberá sustituir los 3150 de la expresión anterior
1:1	3150
2:1	4000
3:1	4250
4:1	4350
5:1	4400
3:4	2700
1:2	2000
1:4	1100

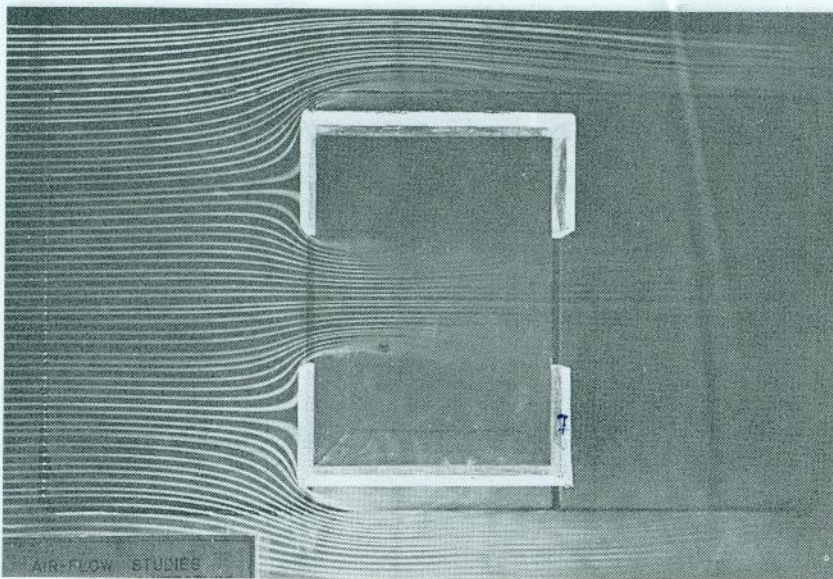
CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO DE AIRE. Es obvio que no se producirá movimiento de aire en el interior en aquellas estructuras que carecen de salidas. De forma similar, resulta evidente que grandes aberturas situadas en extremos opuestos y colocadas en las zonas de alta y



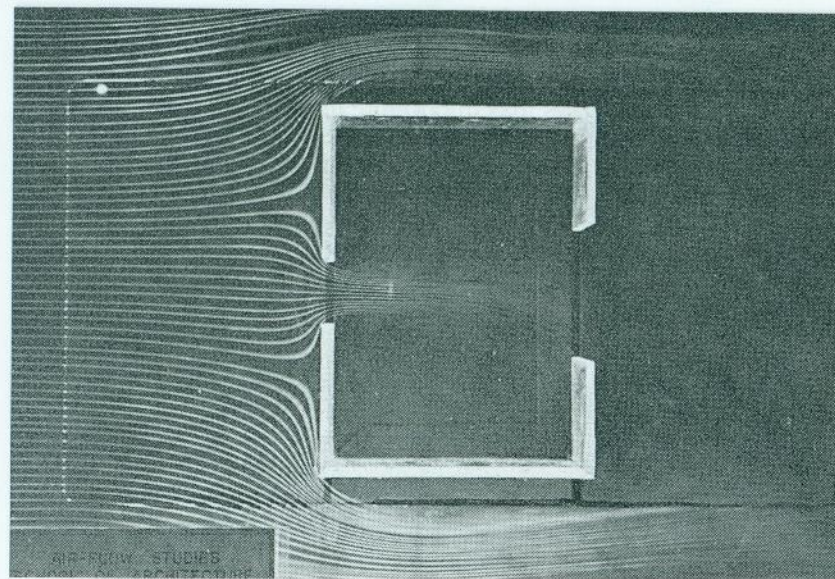
203. Para recibir los movimientos del aire, una casa debe tener una abertura de entrada (preferiblemente situada donde la presión es positiva) y una de salida (donde es negativa o de succión). En este ejemplo falta una de dichas aberturas, por lo tanto no se produce movimiento de aire en el interior.



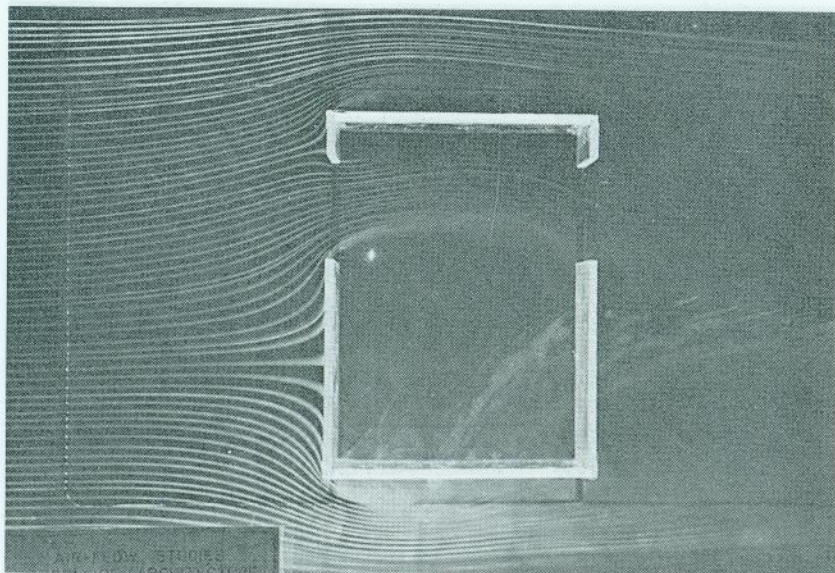
206. La combinación de una abertura de gran tamaño para la entrada de aire con una pequeña para la salida produce un incremento de las velocidades en el exterior del edificio, como consecuencia, el efecto refrescante se pierde.



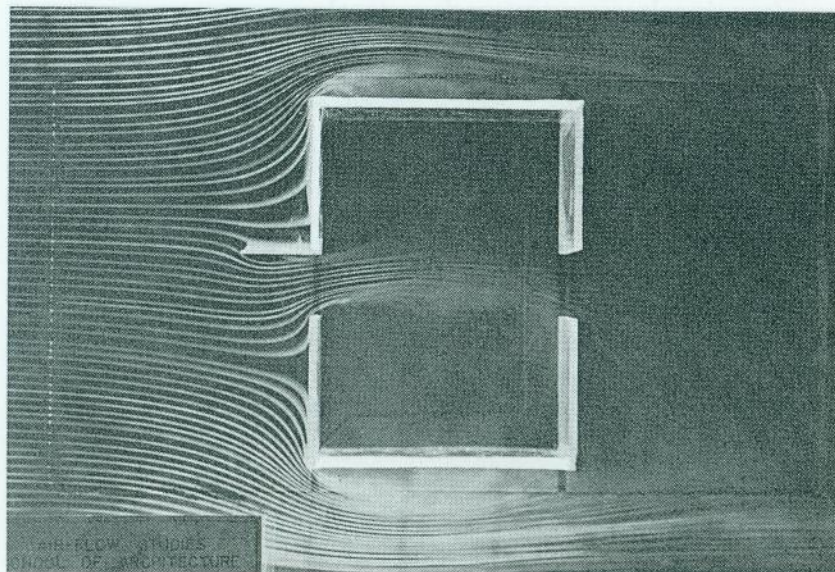
204. El máximo flujo de aire se produce cuando grandes aberturas de igual tamaño se sitúan en fachadas opuestas. Véase la considerable cantidad de flujo de aire a mayor velocidad que la que fluye en el exterior del edificio.



205. La mayor velocidad se produce cuando se combina una entrada de aire pequeña con una salida de gran tamaño. Obsérvese cómo la mayor velocidad del aire se produce justo después de la abertura.



207. Si las aberturas no se encuentran centradas respecto al flujo de aire exterior, se producirá un flujo interior asimétrico. La presión exterior dirige el flujo en ángulo.



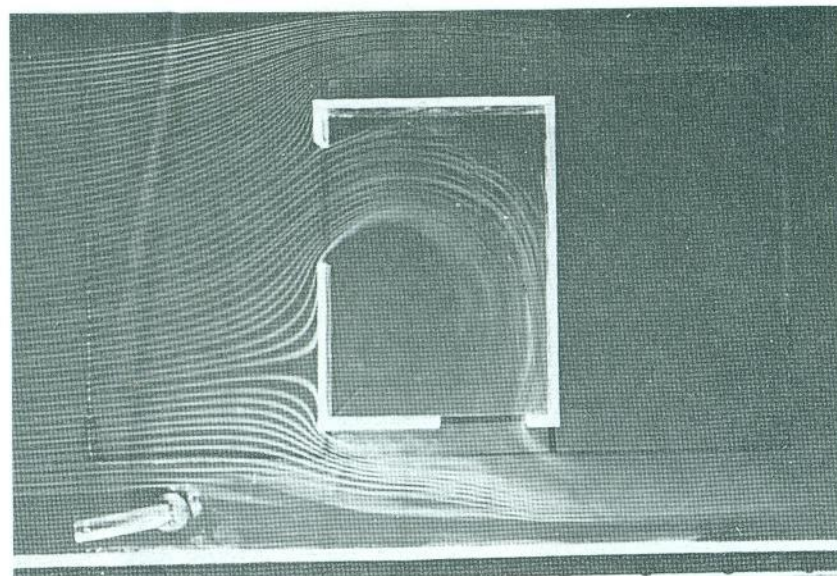
208. Cuando las fuerzas externas ejercen presión lateral sobre el flujo inicial, el flujo resultante será asimétrico. Aquí se muestra un ejemplo del efecto que produce una ventana con tejadillo.

baja presión, respectivamente, proporcionarán el máximo intercambio de aire en el interior del espacio. Sin embargo, para el período de verano, la velocidad del aire es más importante que la cantidad de aire intercambiado. Utilizando pequeñas aberturas de entrada, se produce el "efecto Venturi", asegurando velocidades máximas del aire en el interior de la construcción. Nótese el incremento de las líneas de velocidad en el interior del edificio comparadas con la velocidad del viento en el exterior.

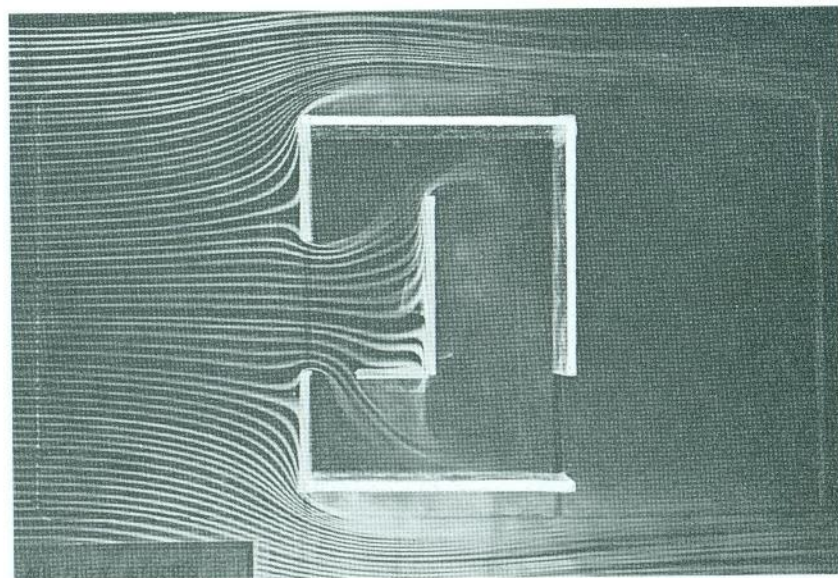
EFFECTO DE INERCIA. Para presiones externas iguales, una entrada y una salida colocadas simétricamente darán como resultado un modelo de flujo interior perpendicular. Con aberturas situadas de forma asimétrica, en concordancia con diferentes componentes de presión externa, el aire penetrará en el edificio oblicuamente. El flujo interior tenderá, por inercia, a seguir su dirección original hasta que, debido a las diferencias de presión, se desviarán hacia la salida. Siempre que se intercepte una de las presiones externas, se originarán patrones de flujo asimétricos similares (por ejemplo, con un marco de ventana).

DIVISIONES EN EL INTERIOR DE LA VIVIENDA. Los modelos de flujo interior dependen de las aberturas, manteniéndose independientes de cualquier otra característica geométrica de la habitación. Un flujo directo asegura la rapidez del movimiento del aire, y cualquier cambio en su dirección reducirá dicho efecto. Cualquier cambio brusco en su curso, ya sea ocasionado por el mobiliario, el equipamiento o alguna división, reducirá la velocidad del aire de forma muy destacable. Como consecuencia, al diseñar la distribución de las subdivisiones internas deberá tenerse en consideración el modelo de flujo específico.

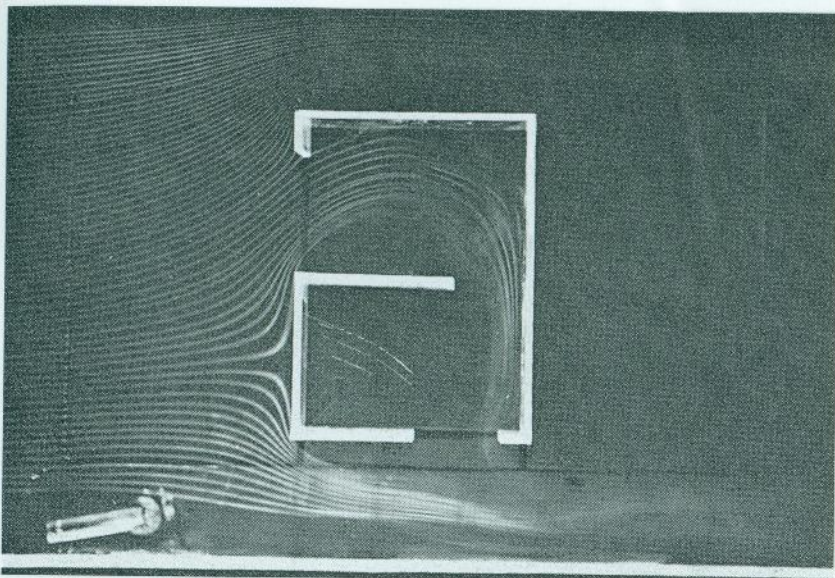
En los bordes de la corriente de flujo laminar se producen turbulentos remolinos que originan un lento movimiento, como de ruedas de carro, en la relativamente estanca masa de aire a su alrededor. Si una división se encuentra situada fuera del cauce de la corrien-



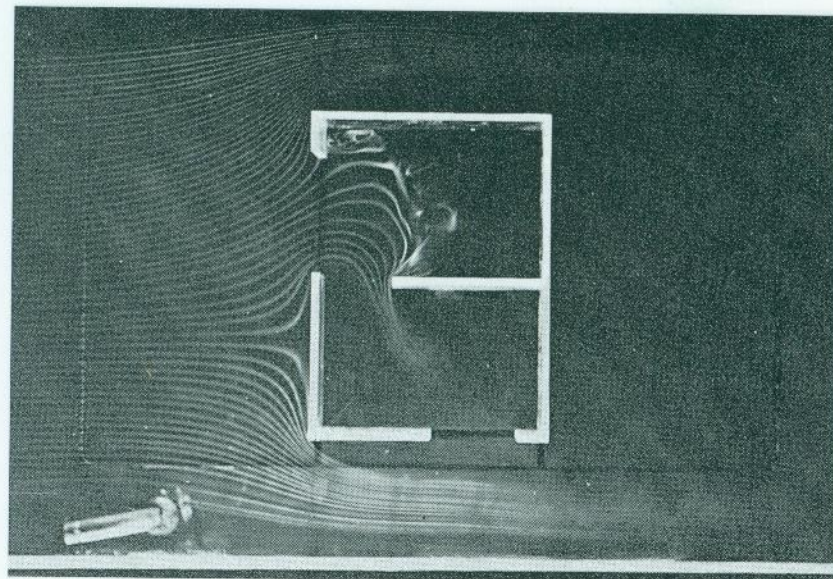
209. Aquí se ilustra el modelo de flujo de aire en una casa sin subdivisiones. Debido a las presiones exteriores, el flujo penetra formando un ángulo. La inercia lo transporta en la misma dirección hasta que, trazando una suave curva, encuentra la salida.



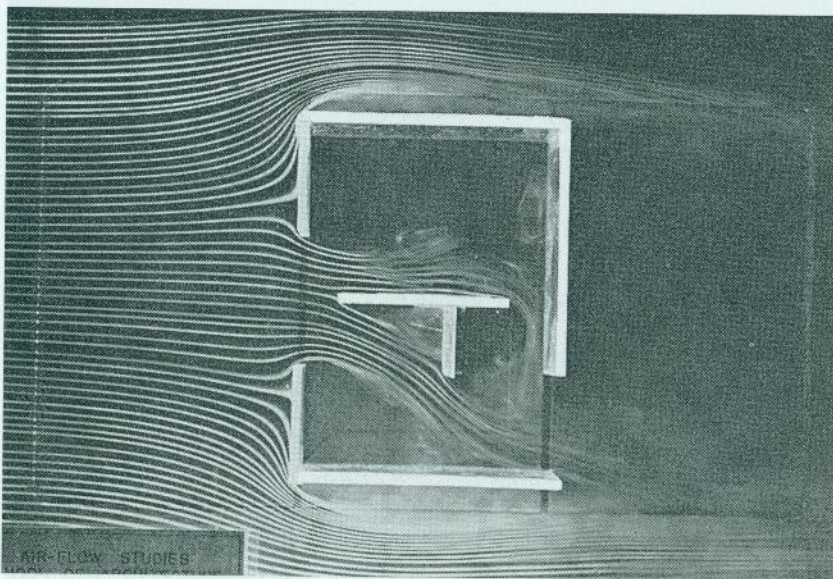
212. Cuando el flujo se intercepta con subdivisiones, su velocidad disminuye considerablemente. El efecto refrescante es entonces muy limitado.



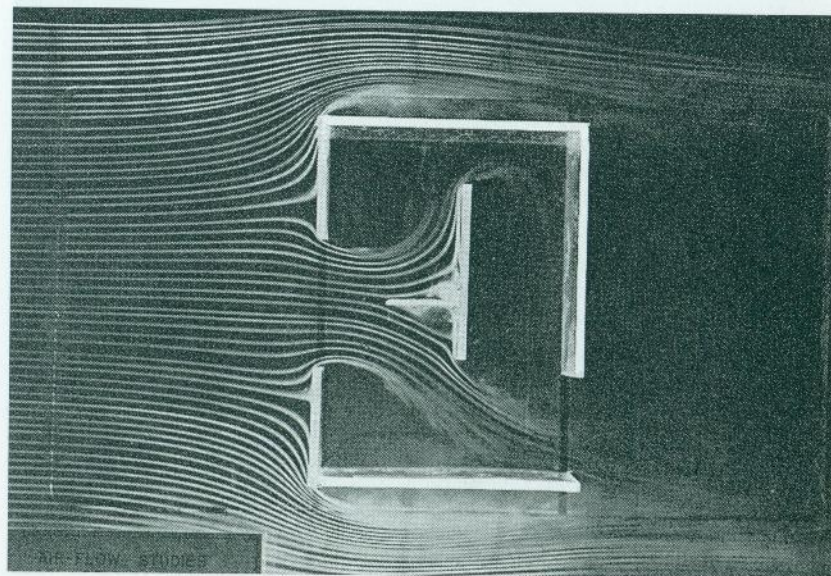
210. Cualquier obstáculo situado fuera del modelo de recorrido no interferirá en la dirección del flujo, ya que la corriente de aire principal es aproximadamente ocho veces más poderosa que los posibles remolinos que pudieran formarse.



211. Cualquier división que intercepte el modelo inicial alterará el flujo de forma significativa: reducirá su velocidad, la habitación de la parte superior no recibirá movimiento del aire, y en la de abajo el flujo será muy escaso.



213. Las divisiones paralelas al flujo parten el recorrido pero mantienen las velocidades adecuadas.



214. Las particiones perpendiculares al flujo inicial alteran el recorrido; la habitación trasera tiene un escaso suministro de refresco.

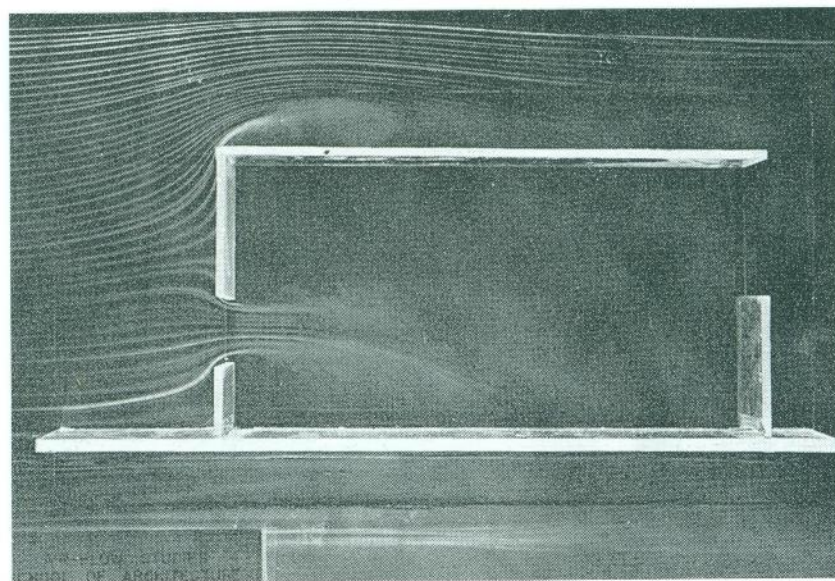
te, la cantidad y el modelo del flujo permanecerán constantes. Si la misma división se coloca en la corriente, el flujo se interrumpirá y reducirá su velocidad, proporcionando un nivel de ventilación escaso en ambas estancias. Es posible observar condiciones similares en experimentos en los cuales los edificios se han dividido en tres espacios. Las divisiones realizadas de acuerdo con los modelos de flujo aseguran una ventilación adecuada, los que interrumpen su curso dan pobres resultados.

SITUACIÓN DE LAS ABERTURAS DE ENTRADA Y DE SALIDA. Un índice relativo alto entre el tamaño de las aberturas (de entrada y salida), asegura una velocidad adecuada del viento y, por lo tanto, el mayor flujo de aire refrescante en el interior de un edificio. En relación con el modelo de flujo de penetración de aire, el emplazamiento de las salidas es irrelevante y la velocidad disminuirá solamente si los cambios de dirección originan un consumo de energía. Este efecto se demuestra en aquellos ejemplos en los cuales la posición de la entrada permanece igual, mientras la de la salida varía, em-

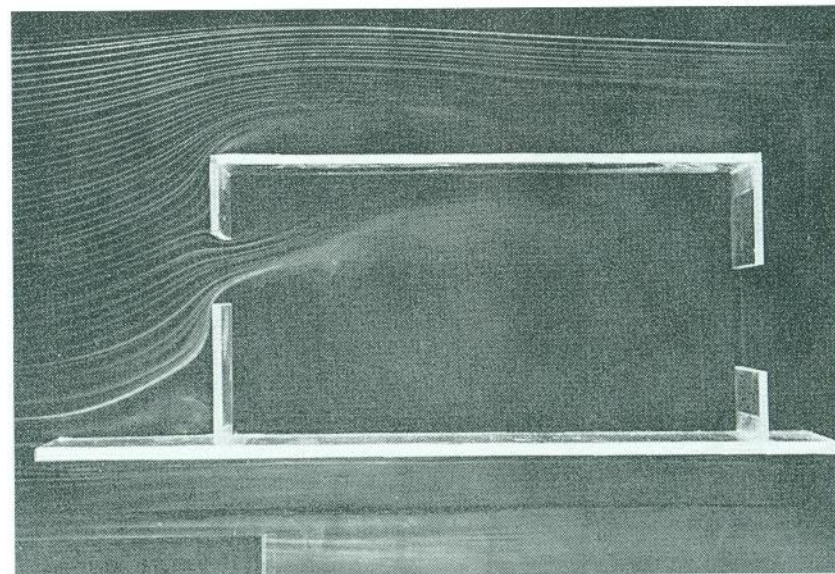
NOTAS EXPLICATIVAS ACERCA DE LOS EXPERIMENTOS DE VELOCIDAD

Los experimentos fueron realizados en un túnel de viento bidimensional, con maquetas fabricadas en plexiglás. Las líneas que indican la corriente son huellas del humo del queroseno entrando en el túnel, por el lado izquierdo, a través de varias mangueras. Las líneas suaves y continuas indican el flujo laminar. La distancia entre las líneas de la corriente tiene una relación directa con la velocidad del aire. Aquellas zonas en las cuales las líneas están muy juntas indican altas velocidades y áreas de baja presión; en las que la separación es mayor, la velocidad es más reducida y señalan zonas de alta presión.

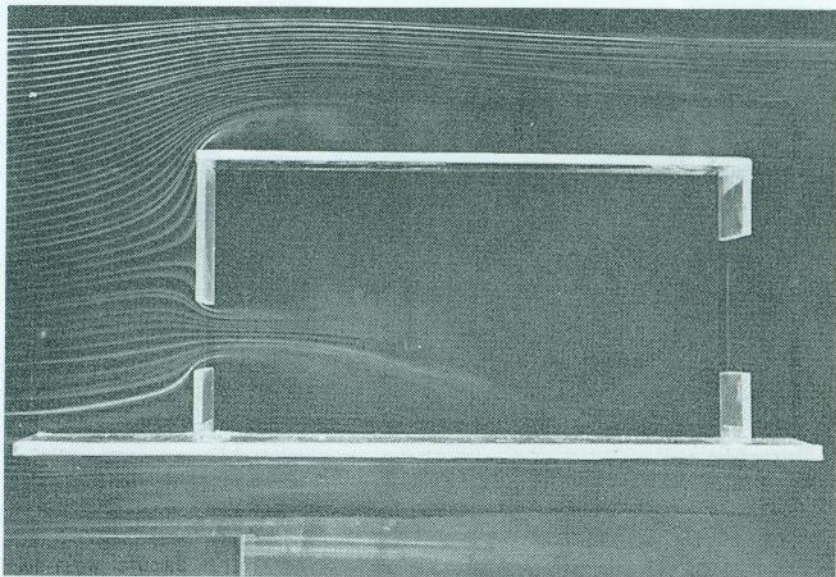
Para estos experimentos se contó con la valiosa colaboración de David C. Hazen, del Departamento de Ingeniería Aeronáutica, y para la utilización del túnel de vientos a baja velocidad, del Centro de Investigación Forestal de la Universidad de Princeton. El análisis y los métodos empleados en esta investigación se basaron en la excelente labor pionera y en los detallados estudios desarrollados por el Centro de Ingeniería Experimental de Tejas¹⁷, donde William W. Caudill, Bob H. Reed y Ben H. Evans proporcionaron muy amablemente numerosa información y sugerencias muy valiosas.



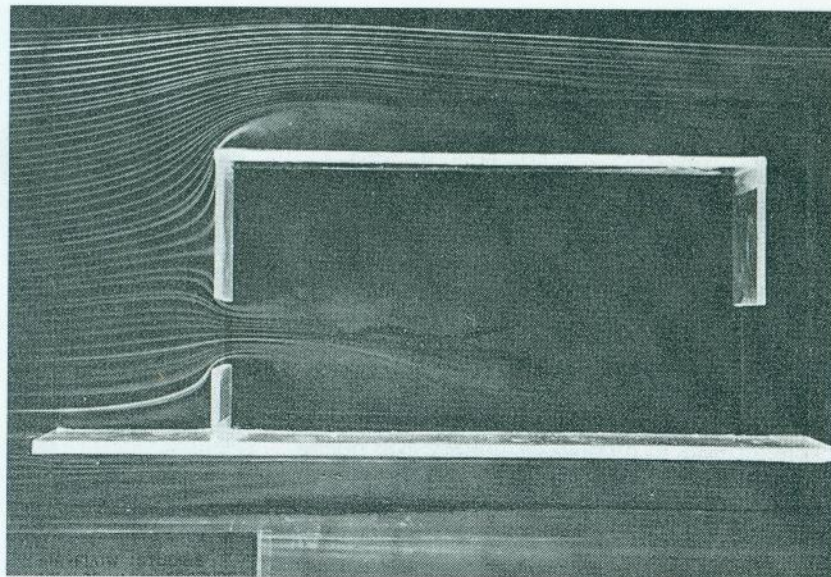
215. Si se coloca la entrada de aire a cota baja y la salida cerca del techo, el flujo resultante tendrá una agradable desviación hacia abajo, a pesar de la posición de la salida.



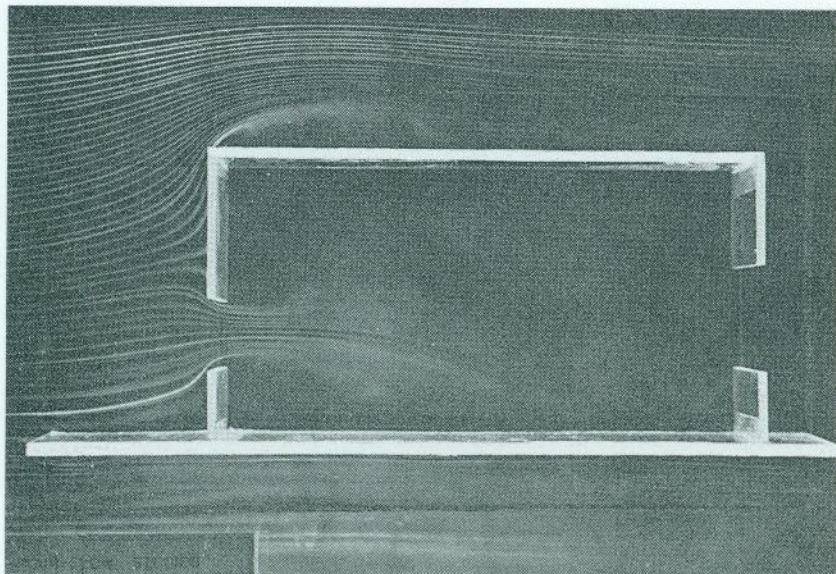
218. Disposición con abertura de entrada situada en la parte superior. Las irregularidades en las superficies exteriores originan fuerzas hacia arriba, lo cual disminuye el efecto de enfriamiento.



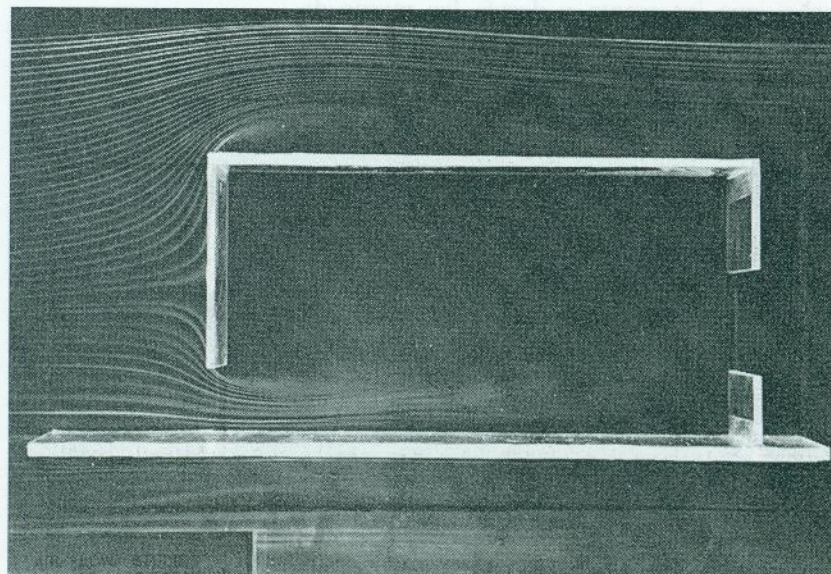
216. Si se mantiene la entrada en la misma posición que en el gráfico anterior, y en cambio la salida la emplazamos en la parte central del muro, el modelo del flujo será igual que en el ejemplo anterior.



217. La misma entrada pero con la salida emplazada cerca del suelo. Conclusión: el lugar de la salida no influirá en el modelo de flujo de aire interno.



219. Una abertura similar a la anterior pero situada en una posición inferior, da como resultado un agradable flujo con pendiente hacia abajo.



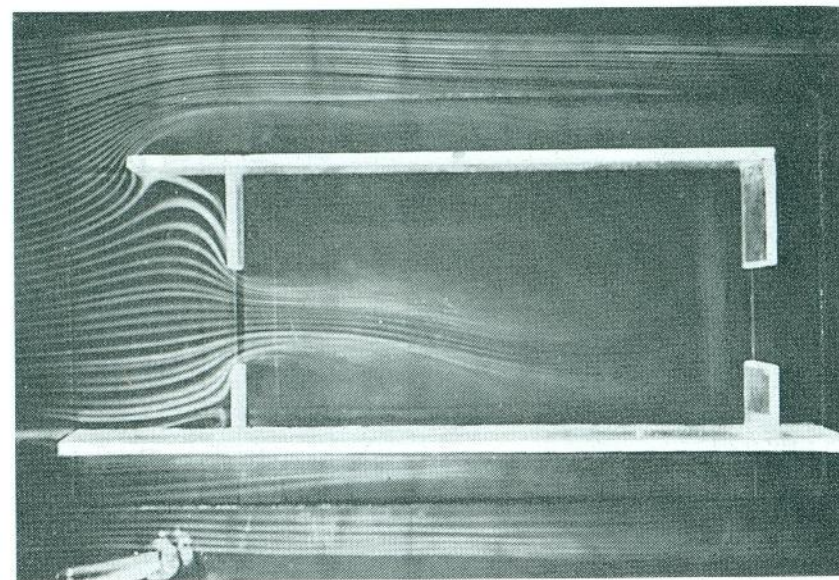
220. Una abertura igual a las anteriores pero colocada a nivel de suelo origina un flujo que barre el suelo. Conclusión: el emplazamiento de la abertura de entrada es uno de los principales factores que influye en el modelo de movimiento del flujo de aire interno.

plazándose en unos casos en la parte superior cerca del techo, en otras en la mitad del paramento y, por último, en la parte baja cerca del nivel de suelo. Nótese que tanto el flujo como el modelo de flujo permanecen constantes.

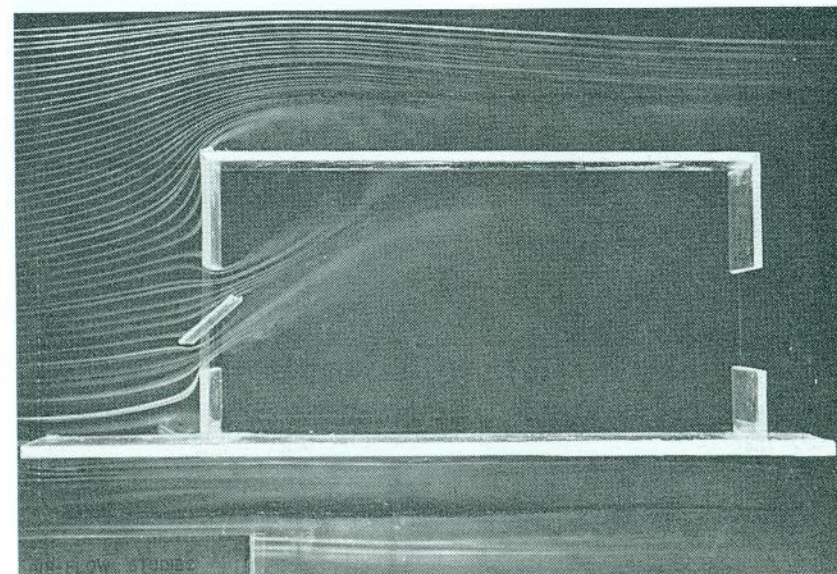
Por otra parte, en los casos en los que la posición de salida se mantiene constante, y la que varía es la de la entrada, situándose en la parte superior, media e inferior, el modelo de flujo es desviado un poco más abajo del techo o hacia el suelo. Si se pretende la mayor eficacia del flujo de aire como elemento refrescante, la corriente deberá dirigirse hacia la zona de actividad. En cualquier edificación, la situación de las entradas determina el modelo de flujo, y éste puede ser regulado no solamente por la posición sino por la distribución y el tipo de abertura.

EFEECTO DIRECCIONAL DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ABERTURAS DE ENTRADA. Los factores externos situados cerca de las aberturas pueden influenciar los modelos de flujo de forma muy acentuada. Un voladizo situado a la altura del techo, que intercepta y desvía las masas de aire hacia las aberturas, mejora el efecto de ventilación. Los voladizos macizos, emplazados directamente encima de las ventanas, eliminan los efectos producidos por las presiones superiores provocando que el flujo del aire se dirija hacia el techo. Este efecto es desfavorable, ya que el flujo se desvía y no incide en la zona de actividad. Un voladizo similar, pero modificado con una hendidura, equilibra las presiones y, como consecuencia, baja el modelo de flujo hacia una zona de mayor utilidad.

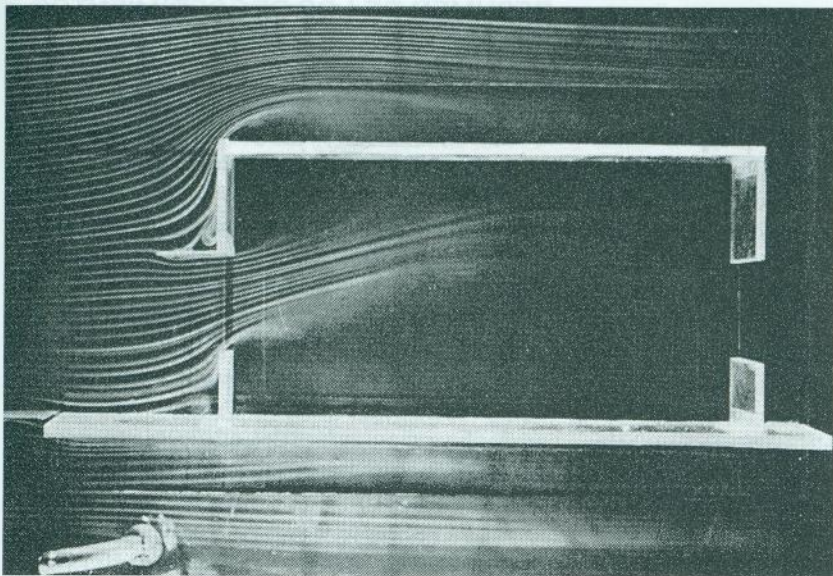
Una ventana tubular, o similar, desvía y modifica el flujo de penetración. Cada tipología de ventana, ya sea con marco, plegable o con aristas ejerce un efecto de desviación específico.¹⁴ En estos gráficos se muestran los efectos de una ventana pivotante –en sentido horizontal–, colocada en dos posiciones diferentes; primero hacia abajo, proporcionando un flujo satisfactorio. En la posición inversa el flujo es dirigido hacia el techo. Las celosías producen este mismo efecto direccional sobre el modelo de flujo.



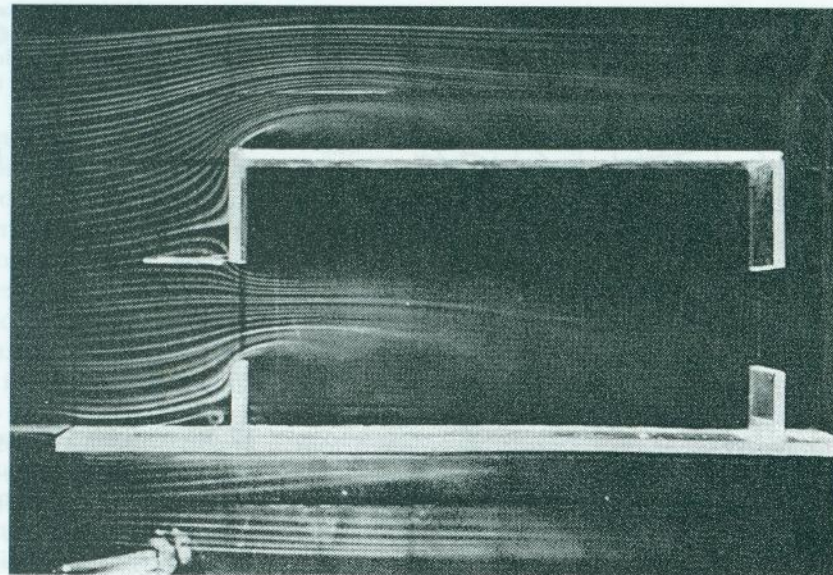
221. Efecto de un voladizo en el flujo de aire. Nótese que el voladizo recoge corrientes de aire que de otra forma escaparían, incrementando así el efecto del flujo.



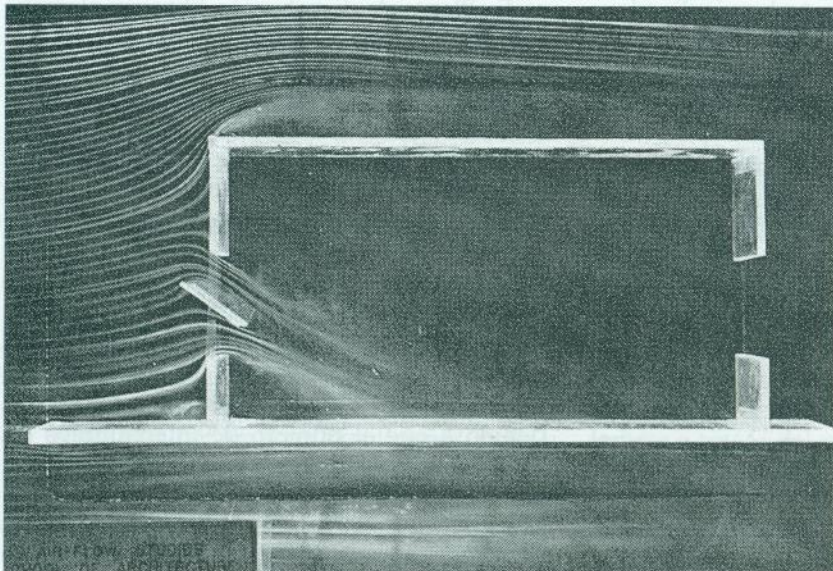
224. Ventana pivotante dirigida hacia arriba. Disposición desfavorable ya que aleja el flujo de la zona de estar.



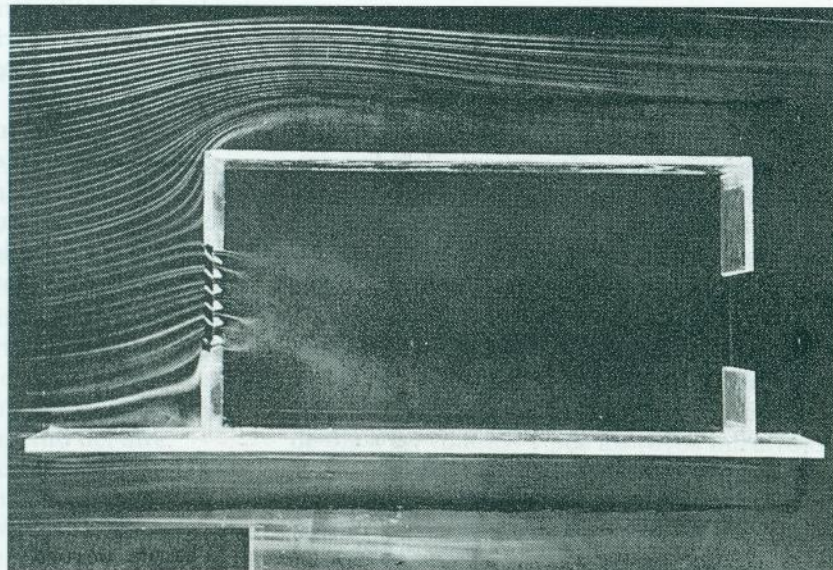
222. Un voladizo situado inmediatamente encima de la ventana produce un efecto desfavorable; la desequilibrada presión externa dirige el flujo hacia arriba, alejándolo de la zona de estar.



223. Un voladizo similar al anterior, pero con una abertura que sirva para equilibrar las presiones externas, proporciona un modelo de flujo de aire agradable.



225. Ventana pivotante dirigida hacia abajo. El modelo del movimiento del aire es satisfactorio.



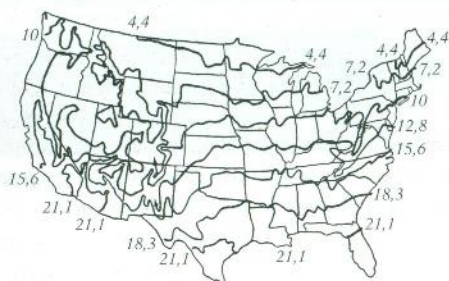
226. Efecto de una persiana veneciana colocada hacia abajo. El resultado es un modelo de aire difuso correcto y bien dirigido.

Datos de la presión de vapor en verano
Vientos necesarios para mantener el confort (en km/h)



227.

Temperaturas medias anuales °C



228.

VENTILACIÓN POR DIFERENCIAL DE TEMPERATURA. La existencia de una diferencia de temperatura entre el aire que se encuentra en el interior y el del exterior de un edificio origina una columna ascendente de aire caliente debido principalmente al efecto gravitacional sobre la diferencia de peso. A mayor diferencia de temperatura, mayor tamaño y diferencia de altura entre las aberturas de entrada y de salida. La relación aproximada de intercambio de aire cuando el área de entrada es la misma que la de salida, puede expresarse así¹⁵:

$$Q = 540 A \sqrt{H(t_i - t_o)}$$

donde

Q = cantidad de flujo de aire, en m³/h

A = superficie de entradas, en m²

H = diferencia de altura entre entradas y salidas, en m

t_i = temperatura media del aire interior a una altura

H, en °C

t_o = temperatura del aire exterior, en °C

Esta expresión requiere un cierto ajuste en aquellos casos en los que existe una gran diferencia entre las superficies de entrada y la de salida, a continuación se listan los factores de ajuste a aplicar:

Superficie de salida Superficie de entrada	Valor que deberán sustituir los 540 de la expresión anterior
5	745
4	740
3	720
2	680
1	540
3/4	455
1/2	340
1/4	185

El intercambio de aire por gravedad es uno de los motivos que inducen a la utilización de techos altos en ambientes calurosos. Los vestíbulos centrales y las generosas distribuciones de las escaleras en los edificios de varias plantas situados al sur, son el mayor reconocimiento de la existencia del efecto de acumulación. Recomendaciones actuales hacen hincapié en la necesidad de ventilar los desvanes y los áticos. Según T. S. Rogers¹⁶, para alcanzar un confort adecuado durante el verano, las superficies totales de ventilación bajo techos inclinados, curvos o planos (inferiores a 464,5 m²), deberán ser de 0,0929 m² por cada 140 m² de superficie de ático. En latitudes bajas esta proporción deberá incrementarse en 1:100.

No obstante, la lentitud del aire en un ascenso normal, no es la adecuada para aliviar el efecto de las altas temperaturas o mejorar las incomodidades producidas por las condiciones de la alta presión de vapor. Cuando esto ocurre es necesario introducir la fuerza del viento.

RESUMEN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DEL VIENTO

1. Los movimientos de aire anuales pueden agruparse por categorías de vientos o brisas y según períodos fríos o cálidos.
2. Basados en su duración y velocidad características, los movimientos del aire pueden expresarse como vectores de orientación.
3. Tanto la posición del edificio como los elementos de protección proporcionan la defensa contra el viento.
4. La ventilación natural puede conseguirse a través de:
 - A. La orientación del edificio (no necesariamente perpendicular a la dirección del viento).
 - B. El entorno, creando zonas de baja y de alta presión.
 - C. El emplazamiento de las entradas en la zona de alta presión y de las salidas en la de baja presión.
 - D. Pequeñas entradas y grandes salidas.
 - E. Entradas que dirijan el flujo hacia las zonas de actividad.
 - F. Planta de distribución libre sin elementos que obstaculicen el flujo interior.

Es deseable que la velocidad del aire interior satisfaga los requerimientos climáticos basándose en las temperaturas diseñadas. La media aproximada de la velocidad del aire interior puede expresarse de la siguiente forma:

$$V_i = \frac{C}{P} m$$

donde: V_i = velocidad media interior, m/min

C = número de intercambios de aire, m³/min

P = patrones de flujo de aire, m³

m = distancia media entre salidas y entradas, m

Debido a que el número de intercambios de aire puede calcularse a partir de la cantidad de flujo de aire (Q), esta expresión proporciona una estimación de la velocidad del aire interior y provee una medida adecuada del tamaño de las aberturas necesarias bajo condiciones climáticas específicas.

X. EFECTOS TÉRMICOS DE LOS MATERIALES

MATERIALES OPACOS Y EQUILIBRIO DE LA TEMPERATURA INTERIOR

Todos los impactos caloríficos externos deben traspasar la piel externa del edificio antes de afectar las condiciones de la temperatura interior. La forma en la que el calor penetra en la piel de la fachada puede compararse con la forma como un material poroso absorbe la humedad; las sucesivas capas de la fachada se "saturan" de calor hasta que, finalmente, el efecto es perceptible en la superficie interior. Las cargas de temperatura diaria, cuyas fluctuaciones son más o menos sinusoidales, se retardan y experimentan distorsiones en su amplitud al filtrarse a través de los elementos de la fachada. Estas dos funciones, propias del material, pueden ser utilizadas de forma muy favorable para conseguir el equilibrio de las condiciones existentes en el interior de una edificación.

Cualquiera que haya entrado en una gran iglesia construida en piedra, un día caluroso de verano, ha experimentado su frescor reconfortante. En este tipo de construcciones la gran masa de material de cerramiento absorbe y posteriormente emite el frescor absorbido durante la noche anterior, dando como resultado una temperatura próxima a la media estacional. Es posible observar un efecto similar en ejemplos "criptoclimáticos" tales como las pirámides, donde el espacio interior es casi despreciable en relación con su inmensa masa de material pesado. La cámara mortuoria interior se mantiene siempre ajena a las temperaturas externas medias anuales. En las viviendas subterráneas de los trogloditas predominan condiciones análogas, ya que la masa de tierra mantiene la temperatura muy cerca de las condiciones isotérmicas. Las viviendas históricas se construían utilizando materiales pesados con propósitos diferentes al de conseguir el equilibrio térmico, no obstante, éstas reaccionan muy bien frente a

estos factores. Comparándolas con los cerramientos de las construcciones actuales, extremadamente ligeros y delgados, el tema del equilibrio de la temperatura emerge de forma muy evidente. Bajo ciertas condiciones este tipo de edificación tan liviana no es el más apropiado, ya que se encuentra a merced de las fuerzas externas, como si fuera un pequeño bote en alta mar.

El propósito de esta investigación es definir las características o requerimientos que deberán satisfacer los materiales de un cerramiento opaco para poder equilibrar, a través de la humedad y su distribución, los impactos térmicos externos de las diferentes regiones y exposiciones. Estas características pueden determinarse investigando los procesos y propiedades que permiten el control de la superficie, analizando brevemente los problemas relacionados con la humedad y el deterioro, y examinando en detalle los factores de transmisión de calor y de acumulación.

PENETRACIÓN DEL CALOR A TRAVÉS DE LA SUPERFICIE

Las fuerzas térmicas que actúan en el exterior de una edificación son una combinación de los impactos por convección y radiación. La radiación total está compuesta por la radiación solar incidente y por el intercambio de calor con la temperatura del aire del entorno y con el cielo. El impacto calorífico por convección se encuentra en función del intercambio con la temperatura del aire circundante, y puede acelerarse a través del movimiento del aire.

Bajo condiciones de calor y asoleo predominará la potencia calorífica; mientras que durante las noches de los períodos fríos o en superficies que se encuentren rodeadas por objetos a baja temperatura el intercambio de calor trabajará negativamente produciéndose

una pérdida calorífica en la superficie expuesta. En las notas adjuntas¹ se indica una ecuación para valorar la cantidad de calor que penetra desde la piel exterior del edificio.

CONTROL DE LA ENTRADA DE CALOR. La primera capa de control del calor se encuentra en la superficie. Debido a que la temperatura superficial de un material expuesto al asoleo directo será mayor que la del aire que lo rodea, los movimientos del aire a su alrededor reducirán los impactos caloríficos externos y serán especialmente beneficiosos en condiciones de calor extremo. El efecto de intercambio puede incrementarse distribuyendo la radiación sobre una mayor superficie, es decir, introduciendo superficies curvas (tales como cúpulas o bóvedas), corrugadas o desiguales (alternando capas retranqueadas de ladrillos), que incrementarán simultáneamente el índice de transferencia por convección.

Las características selectivas de absorción y emisión constituyen otra defensa eficaz contra los impactos de la radiación, y adquieren una especial importancia en condiciones calurosas. Aquellos materiales que reflejan más radiación de la que absorben, y que expelen rápidamente la cantidad absorbida en forma de radiación térmica, producirán temperaturas más bajas dentro de la edificación.

Cuando la energía solar incide en una construcción ya ha sido interceptada por la atmósfera y nos llega a través de diferentes canales. La radiación solar está constituida por la radiación visible (con una longitud de onda de 0,3 a 0,7 micras) y por los rayos infrarrojos (1,7 a 2,5 micras). Esta energía se concentra cerca de la parte visible del espectro, por lo tanto el criterio de reflexión se encuentra en relación con los colores. Los materiales blancos pueden reflejar el 90 % o más de la radiación recibida, y los negros el 15 % o menos.

REACCIÓN DE LOS MATERIALES A LA RADIACIÓN SOLAR Y A LA RADIACIÓN TÉRMICA

SUPERFICIE	PORCENTAJE DE REFLEXIÓN		PORCENTAJE DE EMISIÓN
	Radiación solar	Radiación térmica	
Plata pulida	93	98	2
Aluminio pulido	85	92	8
Encalado	80	—	—
Cobre pulido	75	85	15
Chapa cromada	72	80	20
Pintura blanca	71	11	89
Mármol blanco	54	5	95
Pintura verde claro	50	5	5
Pintura color aluminio	45	45	55
Calcio de indiana	43	5	95
Madera de pino	40	5	95
Cementos de asbestos de 1 año de edad	29	5	95
Ladrillo de arcilla roja	23-30	6	94
Pintura gris	25	5	95
Hierro galvanizado oxidizado	10	72	28
Negro mate	3	5	95

Estos datos han sido extraídos principalmente del *Manual de química y física* del Departamento de Investigaciones Científicas e Industriales (Inglaterra), Coblentz, Cammerer, Drysdale.

Por otra parte, el intercambio térmico con el entorno se realiza a través de longitudes de onda infrarrojas mayores (por encima de 2,5, generalmente entre 5 y 20 micras). Las características de los materiales desde el punto de vista de la reflexión del calor a través de longitudes de onda infrarrojas depende más de la densidad de su superficie y de su composición molecular que del color.

En la tabla adjunta se indican las características de los materiales de algunas superficies, según su capacidad de reflexión y de emisión tanto de la radiación térmica como de la solar.

El comportamiento selectivo de los materiales bajo radiación solar y térmica puede emplearse de acuerdo con las circunstancias climáticas. En aquellas zonas en las que el período frío es extenso, resulta más favorable elegir un índice de reflexión solar bajo. En re-

giones donde los períodos cálidos y fríos se alternan, tanto la reflexión como la absorción son favorables pero en diferentes momentos. Arquitectónicamente es posible resolver esta situación aprovechando la trayectoria estacional del recorrido del sol; los bajos rayos invernales pueden alcanzar las superficies absorbentes, de color oscuro; mientras que la radiación veraniega, mucho más vertical, puede interceptarse con elementos constructivos cuyo índice de reflexión sea muy elevado. En zonas donde predomina el calor debe tenerse muy en cuenta el efecto neto de la reflexión en combinación con la emisión de radiación térmica, característica del material.

Si las superficies expuestas a la radiación solar y a cielos despejados son de color blanco, encaladas o construidas con materiales de color claro tales como el mármol, permanecerán más frescas que las metalizadas (por ejemplo en aluminio). A pesar de que el aluminio posee un mayor nivel de reflexión de la radiación solar, este efecto es contrarrestado por la capacidad emisora de las superficies blancas, las cuales reflejan el calor hacia el cielo, por radiación térmica. Este principio es válido para los exteriores blancos de las edificaciones tropicales. No obstante, si los mismos materiales se encuentran expuestos no solamente a los rayos del sol sino también a un terreno caliente —donde la superficie blanca no es capaz de perder calor por emisión— la superficie de aluminio pulido será la más fresca de las dos. En los aviones se aplican ambos procesos, la parte superior, expuesta a la radiación solar, suele ir pintada de blanco, mientras que la inferior permanece metalizada.

EFFECTOS DE LA HUMEDAD

Los materiales absorben la humedad según sus cualidades higroscópicas. En general, las sustancias orgánicas tienen mayores propiedades absorbentes que las inorgánicas. Con un contenido alto de humedad, los materiales presentan una mayor capacidad de transmisión de calor

debido a la relativamente alta conductividad térmica del agua. Experimentos realizados, muestran el efecto de la humedad higroscópica en la conductividad térmica de materiales inorgánicos en relación a su volumen, y de materiales orgánicos en proporción directa a su peso.²

Es preciso mencionar que un problema relacionado con la humedad, y que se considera independiente de su comportamiento térmico, consiste en la creación de condiciones críticas producidas por efecto de la condensación. El aire con alto contenido de vapor de agua penetra a través de los materiales o de los espacios abiertos de la edificación hacia aquellas zonas con una presión de vapor baja. Generalmente, la dirección del flujo parte desde el interior cálido hacia el frío exterior. También se producen flujos inversos, desde el calor exterior hacia los espacios interiores más frescos. Teóricamente, la condensación se produce cuando el aire cargado de humedad del interior de una edificación alcanza el punto de rocío. T.S. Rogers describe diversos métodos para eliminar condensaciones en la edificación: (1): reduciendo el contenido de humedad en el interior; (2): colocando una “barrera de vapor” o superficie resistente al vapor en el lado más cálido de la zona de punto de rocío, (3) conectando el lado frío con el aire exterior; (4) utilizando en el lado frío materiales que sean al menos cinco veces más porosos al vapor que los empleados en el lado cálido. En general, puede afirmarse que la importancia del control del vapor aumenta en las zonas de clima frío.

DETERIORO DE LOS MATERIALES

Cada zona climática tiene sus agentes atmosféricos destructores específicos. En este estudio mencionaremos brevemente los principales problemas, tomando en cuenta los consiguientes comportamientos térmicos, que forman parte esencial del panorama total.

El proceso de deterioro químico depende, principalmente, de la presencia de agua, lluvia y

alta humedad relativa¹. En zonas frías y a baja temperatura este factor origina el efecto escarcha, y en zonas cálidas, con altas temperaturas, se producen condensaciones. Las diferencias de temperatura afectan principalmente al aspecto físico de los materiales constructivos, produciendo variaciones en su dimensión y con ello su agrietamiento. Las reacciones químicas producen también efectos secundarios importantes y otro tipo de fenómenos que se aceleran logarítmicamente con el incremento de la temperatura⁵. La radiación excesiva ocasiona el deterioro de los materiales en parte debido al aumento de las temperaturas y, en parte también, debido a la acción fotoquímica de los rayos (lo cual se intensifica en las latitudes más meridionales, debido al ligero incremento de la banda ultravioleta). Los agentes biológicos (tales como bancos de algas, caracoles u hongos) necesitan humedad para poder subsistir; el deterioro será muy pequeño a menos que la humedad relativa exceda del 70 %⁶. En algunas regiones secas existen ciertos tipos de termitas subterráneas que constituyen la mayor fuente de deterioro de productos realizados en celulosa y que no se encuentran protegidos apropiadamente.

TRANSMISIÓN CALORÍFICA DE LOS MATERIALES

La característica más importante para el control térmico de los materiales es su comportamiento desde el punto de vista de la transmisión. La variación diaria de la carga calorífica origina su correspondiente oscilación en el interior de la estructura, pero con dos diferencias; (1): el ciclo interno se amortiguará, es decir, las variaciones serán más pequeñas (la amplitud de sus movimientos disminuirá) y (2): el ciclo interno sucederá al externo, es decir, ambos ciclos estarán desfasados.

El primer efecto depende del valor aislante del material, caracterizado como factor "U" (coeficiente de transmisión total de calor, expresado en kcal/h/m²). A menor valor de U, mejor efecto aislante. Esta interferencia en el paso del calor se

conoce generalmente como "aislamiento resistente", ya que permite reducir el flujo del calor.

El segundo efecto depende de la capacidad acumulativa calorífica del material, caracterizada por el calor volumétrico específico ($\rho \times c$, densidad por calor específico). A mayor capacidad acumulativa, menor variación de temperatura propagada a través del material. El retardo producido por esta transmisión se conoce como inercia térmica; y proporciona la posibilidad de almacenar las cargas que se producen en los momentos punta de calor y liberarlas en momentos de baja temperatura. Este efecto reduce simultáneamente la amplitud del impacto y se denomina generalmente "capacidad aislante".

Ambas características se encuentran presentes en los materiales, con diferente intensidad, dependiendo de su difusión térmica. Esto puede definirse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$D = k/\rho c \text{ (m}^2/\text{h)}$$

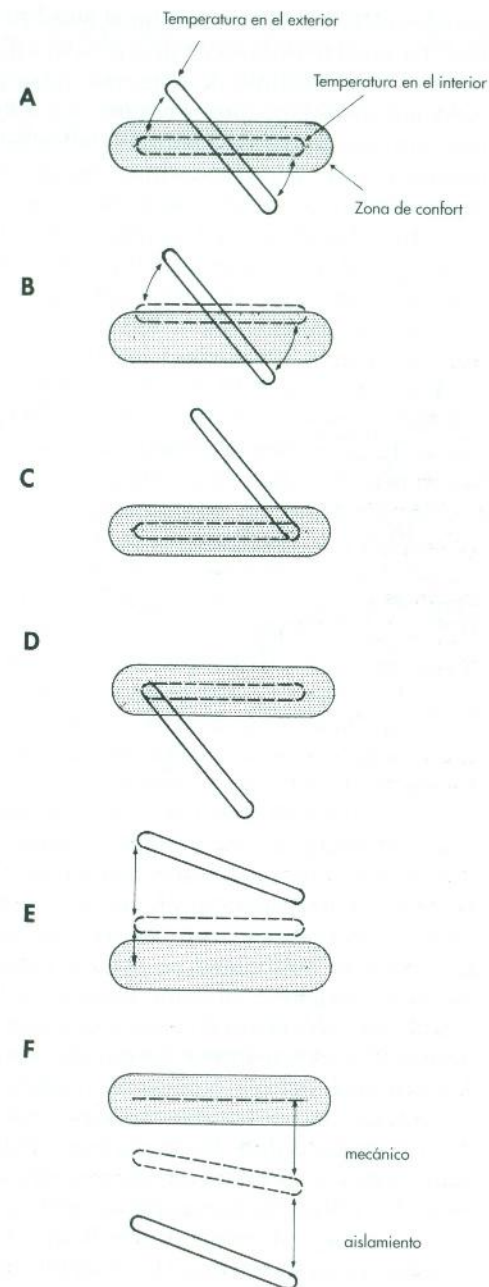
donde: D = difusividad térmica
 k = conductividad térmica (kcal/ m²/h °C)
 ρ = densidad (kg/cm³)
 c = calor específico (kcal/kg °C)

El aire estático es uno de los mejores elementos aislantes, aquellos materiales que contienen burbujas de aire atrapado en su interior tienen un índice de transmisión de calor más bajo y son generalmente más livianos. Por el contrario, los materiales con una gran inercia son generalmente densos y su efecto se asocia, por lo general, directamente con su peso (ver las tablas de datos comparativos).

En diseño, la utilización apropiada tanto del aislamiento como de la inercia son muy importantes para conseguir el equilibrio calorífico del interior.

CAPACIDAD DE AISLAMIENTO O EFECTOS DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA

Para determinar las características adecuadas del comportamiento térmico de los materiales en una región climática específica es necesario realizar un estudio de las condiciones térmicas

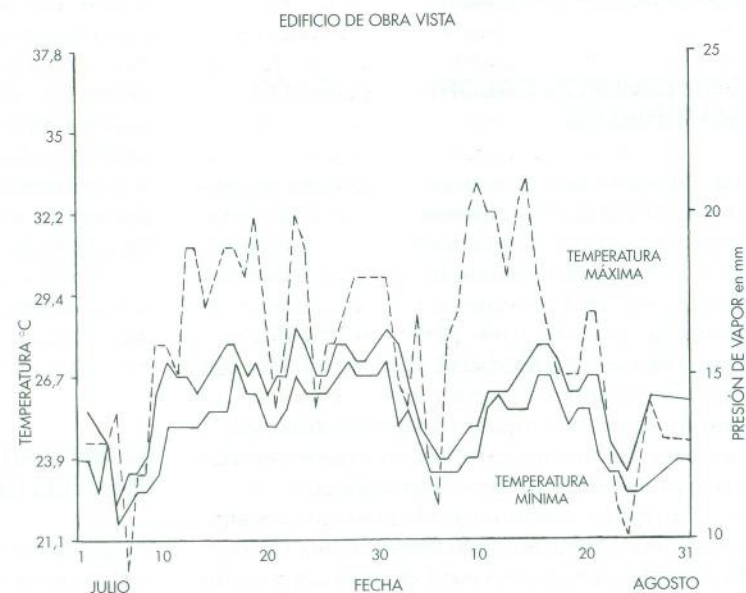
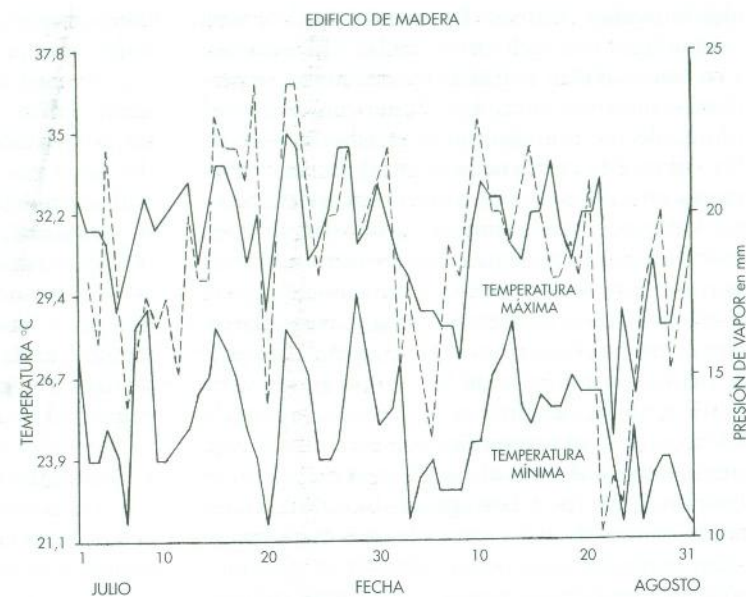


229. Efecto del retardo por inercia y el aislamiento en relación con el confort.

anuales en relación con las condiciones de confort. Es posible establecer una relación directa entre el nivel máximo de la temperatura anual y el valor de aislamiento necesario, y confirmar una correlación paralela entre el índice de temperatura diario y los requerimientos de capacidad calorífica. Con relación a esto último, Leroux⁷ recomienda que en aquellas zonas donde el margen diurno se encuentra entre los 6 y 8 °C la construcción se realice con material pesado, de aproximadamente 300 kg/m³, utilizando, por ejemplo, hormigón o ladrillo; para temperaturas entre 10 y 12 °C, un peso entre 600 y 700 kg/m³ y por encima de los 20 °C, 1200 kg/m³ o más. Estas recomendaciones, aunque correctas en principio, han sido criticadas en su aplicación particular⁸. A continuación ofrecemos un análisis más detallado del problema.

La relación entre las condiciones de confort y las variaciones diurnas de la temperatura puede ilustrarse con algunos ejemplos, teniendo en cuenta las características del material. La capacidad calorífica es esencial en los casos en los que la inclinación de la curva de temperatura diaria (equivalente a la amplitud) es muy pronunciada y la curva diaria resultante permanece en la zona de confort en (A) o muy cerca de (B). Si la temperatura exterior puede alcanzar los 29,4 °C, o incluso más, una construcción pesada estabilizará la temperatura fuera del margen de confort. No obstante, con curvas muy inclinadas, existe la posibilidad de utilizar materiales con baja capacidad difusora, para absorber las condiciones térmicas cercanas a la situación de confort (C y D), y mantenerlas durante los períodos extremos del día (aplicando medidas tales como el tamaño de las aberturas, por ejemplo).

En zonas donde las variaciones diarias y estacionales son exageradas es necesario determinar los valores de la capacidad calorífica y de la resistencia al aislamiento (E). Bajo condiciones estacionales extremas (F) el factor más importante es el coeficiente de aislamiento y las condiciones de confort deberán mantenerse por medios mecánicos. En este caso, la variación diaria de temperatura es relativamente despre-



230. Efecto de los materiales en el comportamiento de la edificación.

ciable; no obstante, si la curva es muy inclinada es posible introducir en el interior materiales con gran capacidad calorífica proporcionando el necesario efecto de equilibrio diurno.

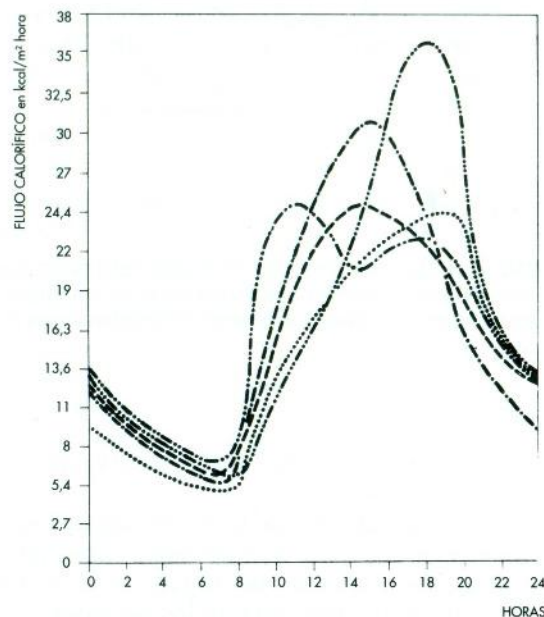
Estos dos ejemplos ilustran diferencias muy marcadas entre dos edificios bajo condiciones ambientales similares pero realizados con materiales distintos. La comparación entre una construcción abierta y ligera y una construcción pesada y cerrada, situadas ambas en emplazamientos similares, nos permite advertir que la edificación realizada con madera fluctúa con la temperatura del ambiente exterior, alcanzando amplitudes diarias de variación de hasta 14 °C; y la casa de ladrillo, más cerrada, estabiliza las condiciones internas con temperaturas medias bajas donde el ciclo máximo diario no alcanza variaciones superiores a los 5 °C°.

INERCI A CALORÍFICA Y MÉTODOS DE CÁLCULO

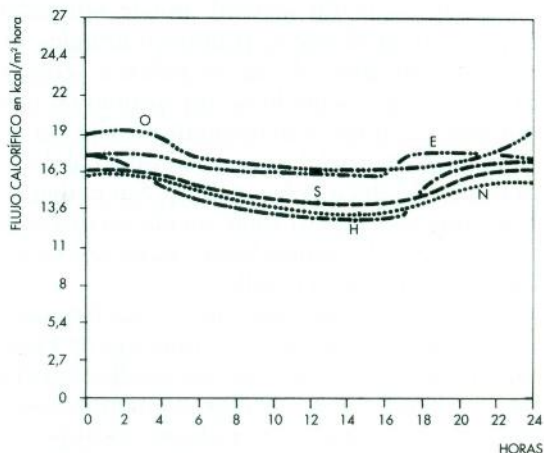
EQUILIBRIO CALORÍFICO DIARIO DE LAS ESTRUCTURAS. Aquí mostramos un ejemplo comparativo entre el comportamiento de una construcción ligera y el de una pesada, bajo las mismas circunstancias climáticas. Los cálculos fueron realizados en una ordenación residencial en Bagdag, Irak. El gráfico superior izquierdo muestra las curvas de transmisión para una construcción en madera ($U = 0,268$, retardo por inercia 2 h, color claro), bajo condiciones de asoleo propias de mediados de verano (21 de julio). Las curvas del gráfico inferior izquierda indican el comportamiento del flujo de calor en muros de ladrillo típicos iraquíes de 23 cm, bajo las mismas condiciones, pero con un retardo por inercia de 10 horas. Nótese que a pesar de que la transmisión calorífica total diaria de los componentes del edificio es la misma en ambas estructuras (para valores de aislamiento iguales), la amplitud y el período de transmisión son marcadamente diferentes. El gráfico 233 (arriba) resume el comportamiento del flujo calorífico total diario de ambas construcciones; debajo de este gráfico se ilustra la curva de tempe-

ratura a la sombra que corresponde a las condiciones externas. Nótese que la edificación ligera se calienta durante las horas más calurosas del día (desde las 7:00 hasta las 19:00), y transmite 113,5 kcal, a través de sus diferentes superficies;

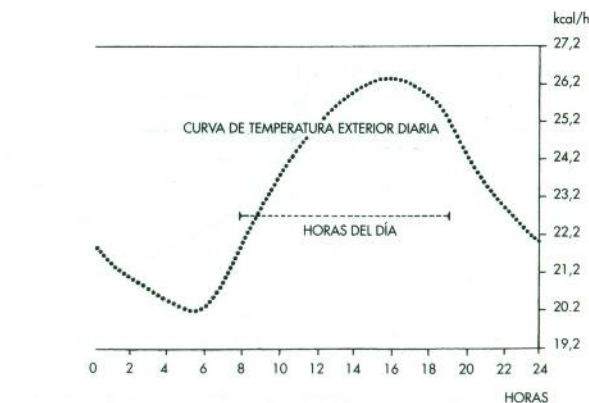
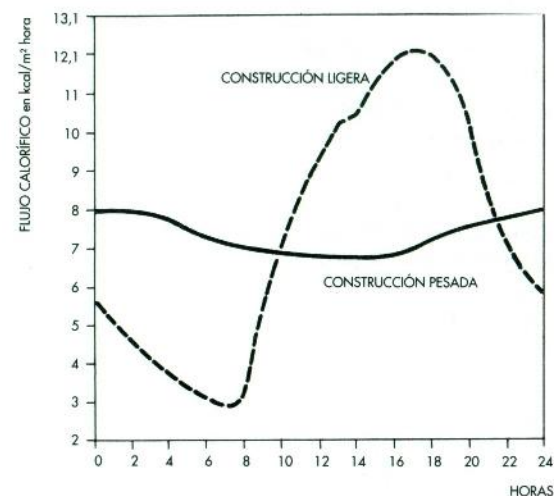
mientras que la estructura pesada transmite solamente 83,5 kcal durante el mismo período de tiempo. En este caso, los componentes pesados ofrecen más ventajas para conseguir el equilibrio calorífico diurno.



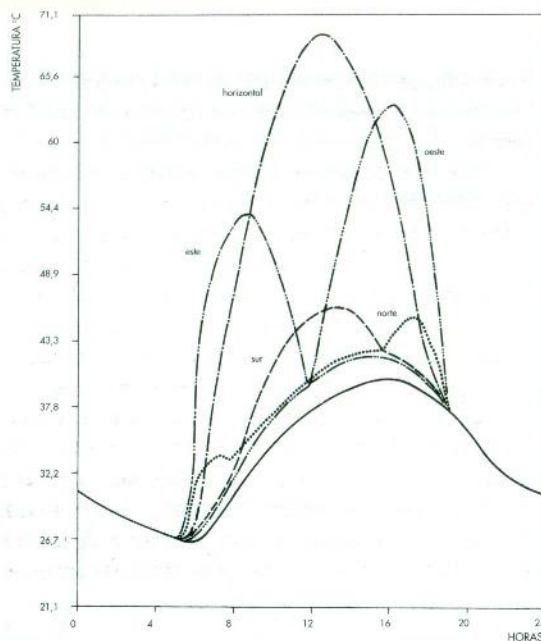
231. Comportamiento de una construcción ligera de madera, en Irak y durante el mes de julio.



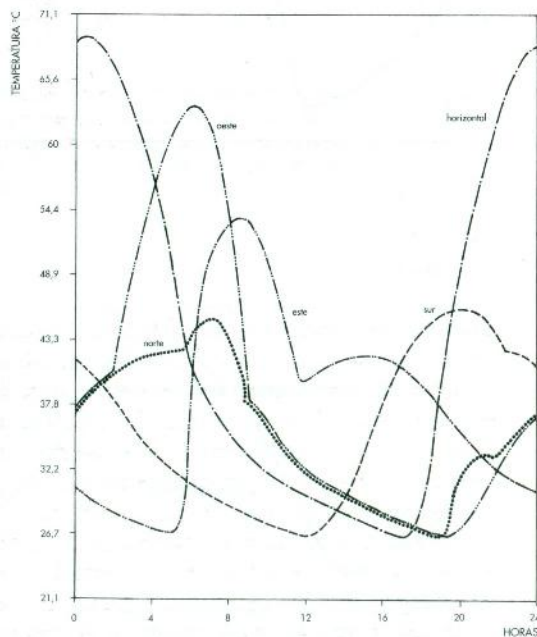
232. Comportamiento de una construcción realizada con ladrillo de 23 cm, en Irak y durante el mes de julio.



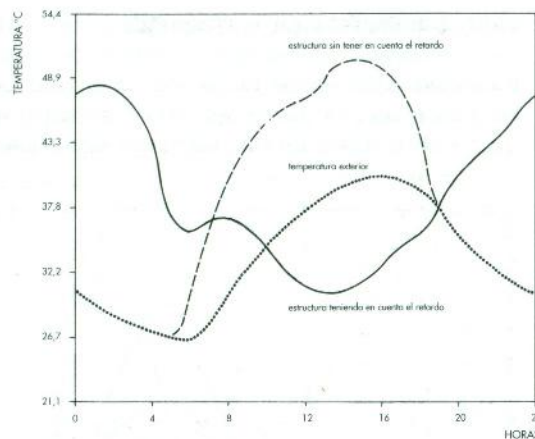
233. Comparación entre los comportamientos térmicos de ambas estructuras, en Irak y durante el mes de julio.



234. Temperaturas superficiales sol-aire en Phoenix, durante el mes de julio.



235. Reorganización de los impactos sol-aire teniendo en cuenta los retardos por inercia más convenientes, Phoenix, julio.



236. Comparación entre los impactos caloríficos que afectan ambas estructuras teniendo o no en cuenta los retardos por inercia, en Phoenix durante el mes de julio.

MÉTODO DE CÁLCULO PARA LOS REQUISITOS DEL RETARDO POR INERCIA

El efecto de "cambio de fase" del aislamiento, proporciona el retardo suficiente como para utilizar los impactos de radiación externos de las horas de más calor en los períodos más fríos del día, así como también para transmitir las temperaturas bajas de la noche a las horas punta de calor. En general, puede afirmarse que, en zonas donde se producen grandes variaciones durante el día, el balance térmico diario será el resultado de un cambio de fase por inercia de aproximadamente medio día (es decir, el traslado del frescor nocturno al día, y del calor del día a la fría noche). Sin embargo, dado que el impacto solar incide en distintas superficies a diferentes horas, es necesario estudiar este tema en detalle.

Un análisis de este tipo se ha llevado a cabo para las condiciones veraniegas de Phoenix, Arizona (el 21 de julio, en un día despejado, en condiciones medias de temperatura, $\alpha = 0,7$). En el gráfico se indican los impactos de la temperatura sol-aire en las diferentes orientaciones. En este caso es evidente la acu-

mulación de carga calorífica concentrada en las primeras horas de la tarde. Para el traslado de estos impactos a períodos más fríos, las distintas superficies expuestas requerirán diferentes retardos por inercia. La mayor carga calorífica caerá sobre la superficie horizontal (cubierta), necesitando un tiempo de cambio de aproximadamente 11 o 12 horas. La fachada este necesitará desde un mínimo de 12 horas hasta el óptimo de 17 horas para impedir la radiación del calor al interior durante las horas punta, cosa bastante difícil. Como consecuencia, la solución más práctica consiste en que dicha fachada no disponga de retardo alguno, y deje que las radiaciones caloríficas afecten al interior mientras aún las temperaturas diurnas son bajas. En el lado sur se requiere menos retardo: el retardo adecuado es como mínimo 7 horas, y en el caso óptimo 10 horas. La fachada oeste, que es la que recibe la mayor carga calorífica, debe tener un retardo mínimo de 5 horas y uno óptimo de 10 horas. La superficie norte es la menos importante en relación con su inercia característica, no obstante, un retardo de 5 a 10 horas contribuirá de alguna forma a la distribución calorífica diaria. En el gráfico se muestra la distribución del efecto sol-aire en relación con retardos por inercia adecuados.

En él se ilustran los impactos caloríficos totales resultantes por cada unidad constructiva, una vez aplicados los retardos óptimos, y se comparan con los de una edificación en desequilibrio. Debemos recordar que esta tabla indica los valores sol-aire y excluye el efecto aislante de los materiales, de aquí que sólo puede aplicarse directamente para el cálculo del efecto de inercia. En la gráfica, la línea continua indica los impactos transmitidos por la construcción pesada y las líneas discontinuas los transmitidos por una ligera. La línea de puntos señala la relación de las curvas con la temperatura exterior. Nótese que durante las horas diurnas (de 7:00 h a 19:00 h) la estructura pesada transmitirá al interior temperaturas inferiores a las cedidas por una estructura ligera. Por la noche, cuando la cons-

trucción ligera se enfría, la caída de la temperatura exterior permite a la construcción pesada utilizar frío de ventilación. El gráfico indica también que, bajo las condiciones de confort analizadas, la situación interior más equilibrada ocurrirá en una vivienda diseñada de forma tal que las zonas de actividad diaria se construyan con materiales pesados y las de actividad nocturna con materiales ligeros.

COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN
CALORÍFICA TOTAL (U) Y TIEMPOS DE INERCIA
CARACTERÍSTICOS PARA MUROS HOMOGÉNEOS¹⁰

Material	Espesor centímetros	Valor de (U) cal/cm ² /min	Retraso Horas
Piedra	20	0,0031	5,5
	35	0,0025	8,0
	41	0,0022	10,5
	61	0,0017	15,5
Hormigón sólido	5	0,0045	1,1
	10	0,0041	2,5
	15	0,0034	3,8
	20	0,0030	5,1
	30	0,0025	7,8
	40,6	0,0021	10,2
Ladrillo común	10	0,0028	2,3
	20	0,0019	5,5
	30	0,0014	8,5
	40,6	0,0012	12,0
Aplacado de ladrillo	10	0,0036	2,4
Madera	1,25	0,0031	0,17
	2,5	0,0022	0,45
	5	0,0014	1,3
Panel aislante	1,25	0,0019	0,08
	2,5	0,0012	0,23
	5	0,00065	0,77
	10	0,00037	2,7
	15	0,00023	5,0

En esta tabla, los valores de U se basan en un índice de conductancia superficial exterior de 4,0, y en uno interior de 0,0076 cal/cm²/min. Para construcciones compuestas es necesario añadir un retardo adicional a la suma de los retardos individuales. Es costumbre añadir media hora adicional en aquellas construcciones ligeras de dos capas y una en las pesadas, de tres o más capas.

AISLAMIENTO EQUILIBRADO

La forma más eficaz de reducir el flujo de calor es a través de las propiedades aislantes del material. La cantidad de aislamiento deseada se encuentra en relación directa con la diferencia que existe entre las condiciones térmicas exteriores y los requerimientos de control. Esta relación puede basarse convenientemente en los niveles de temperatura de la localidad; y expresarse como "índice de aislamiento". Sin embargo, distintos grados de exposición producen, como resultado de la acción sol-aire, diferentes impactos de temperatura, incrementando o haciendo disminuir la carga térmica calorífica. Si se utilizan los valores del "aislamiento equilibrado" para amortiguar esas diferencias, es posible compensar las condiciones térmicas interiores.

El método empleado para el cálculo del efecto de aislamiento equilibrado se ha ilustrado para cuatro localidades. En medio de los gráficos se observa el plano de la edificación. En el sentido de las agujas del reloj, y a cada lado, se indican las horas del día. Sobre los alzados situados en las direcciones principales se listan las temperaturas sol-aire, tanto para verano como para invierno. Las curvas de temperatura, tabuladas para superficies ligeras, en días soleados y condiciones promedio, se relacionan con las condiciones de confort para invierno (21,1 °C) y verano (23,3 °C). Abajo se muestra una sección de dicha edificación para indicar los impactos en la cubierta.

Las condiciones que deben regir el diseño, para cada estación, se han seleccionado de acuerdo con la duración de los días fríos (es decir de 7:00 a 19:00, que es cuando la temperatura se encuentra por debajo de los 21,1 °C) y calientes del año. Esta relación frío-caliente dio los siguientes resultados en los diferentes emplazamientos: en Minneapolis del 75 % al 25 %, en Nueva York del 72 % al 28 %, en Phoenix del 37 % al 63 % y en Miami del 12 % al 88 %. A partir de estos datos, la condición fría de Minneapolis y Nueva York (21 de enero), y

la cálida de Phoenix y Miami (21 de julio), fueron las seleccionadas como criterio para el diseño.

Las fluctuaciones diarias de temperatura en relación con las condiciones de confort constituyen el principal elemento en la búsqueda del equilibrio. Las variaciones medias diarias, a partir de los 21,1 °C (en invierno), o de los 23,3 °C. (en verano) dan la medida adecuada de los valores de aislamiento relativo, para aquellos casos donde los impactos estacionales imponen tensiones muy marcadas en lados específicos —tales como las superficies horizontales (c = cubierta) en verano y en latitudes altas—, los valores se calcularon anualmente. Estos cálculos dieron como resultado las siguientes relaciones para las diferentes exposiciones:

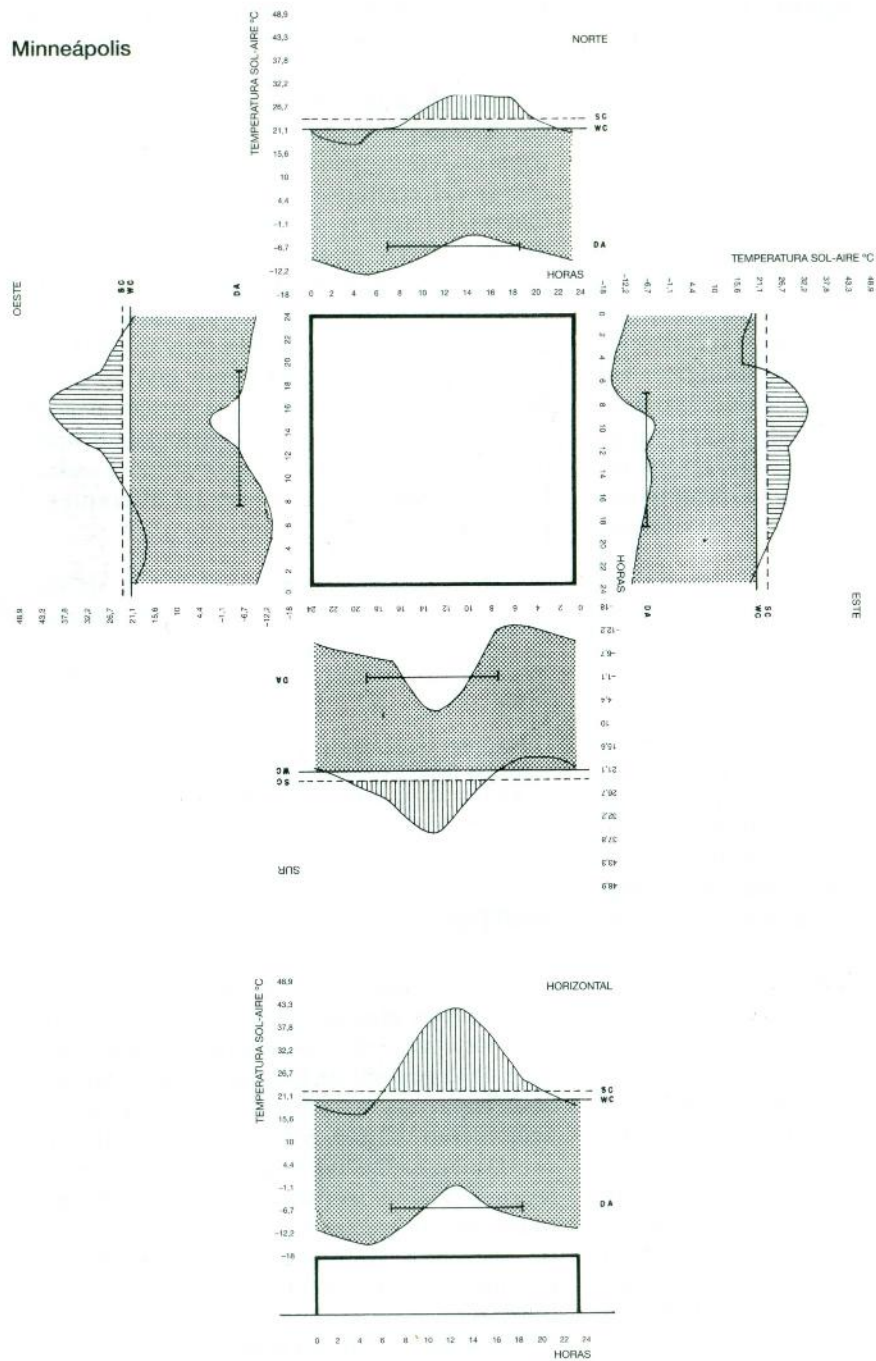
	E	S	O	N	C
Minneapolis	27,5+	23+	29+	27,5+	31*
Nueva York	19+	15+	21+	19+	22*
Phoenix	18,5#	15,5#	15,5#	18#	25#
Miami	10#	7#	8#	10#	16,5#

Los valores marcados con + corresponden al invierno, y los que tienen # al verano; los valores indicados con * se adoptaron de acuerdo con la duración y el impacto de las cargas de invierno y de verano.

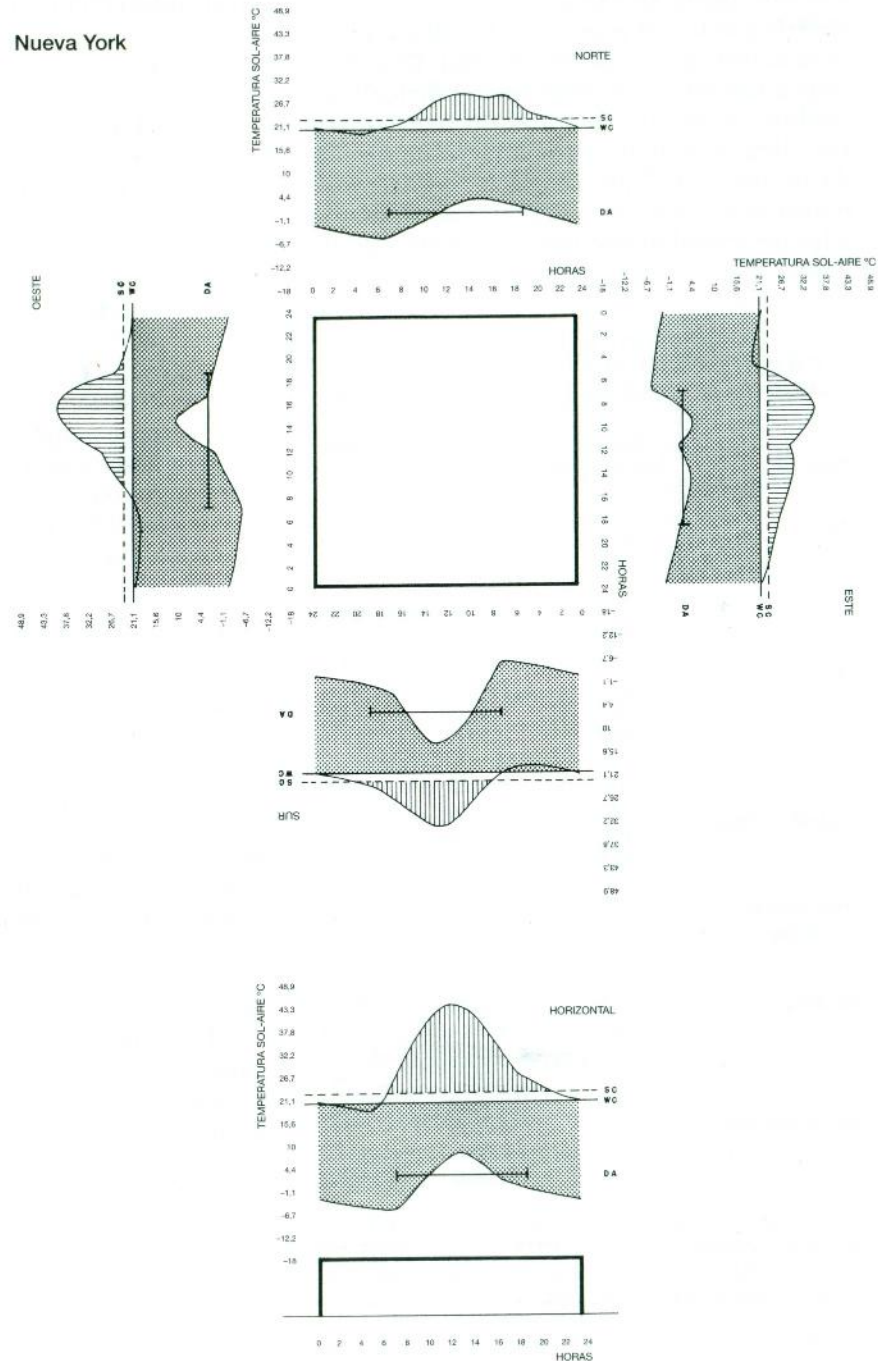
SÍNTESIS

EXIGENCIAS REGIONALES DE AISLAMIENTO. Las consideraciones previas pueden definirse también para los cuatro emplazamientos analizados. La magnitud general de los valores de aislamiento aquí expuestos se expresan como "índices de aislamiento". Éstos, como ya ha sido discutido previamente, dependen de las temperaturas exteriores. Las temperaturas generalmente aceptadas para proyectar son las recomendadas por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado¹¹. Dichos valores, para la zona de Minneapolis, son -29 °C en invierno, y 35 °C en verano; dando como resultado una desviación de 50° de las condicio-

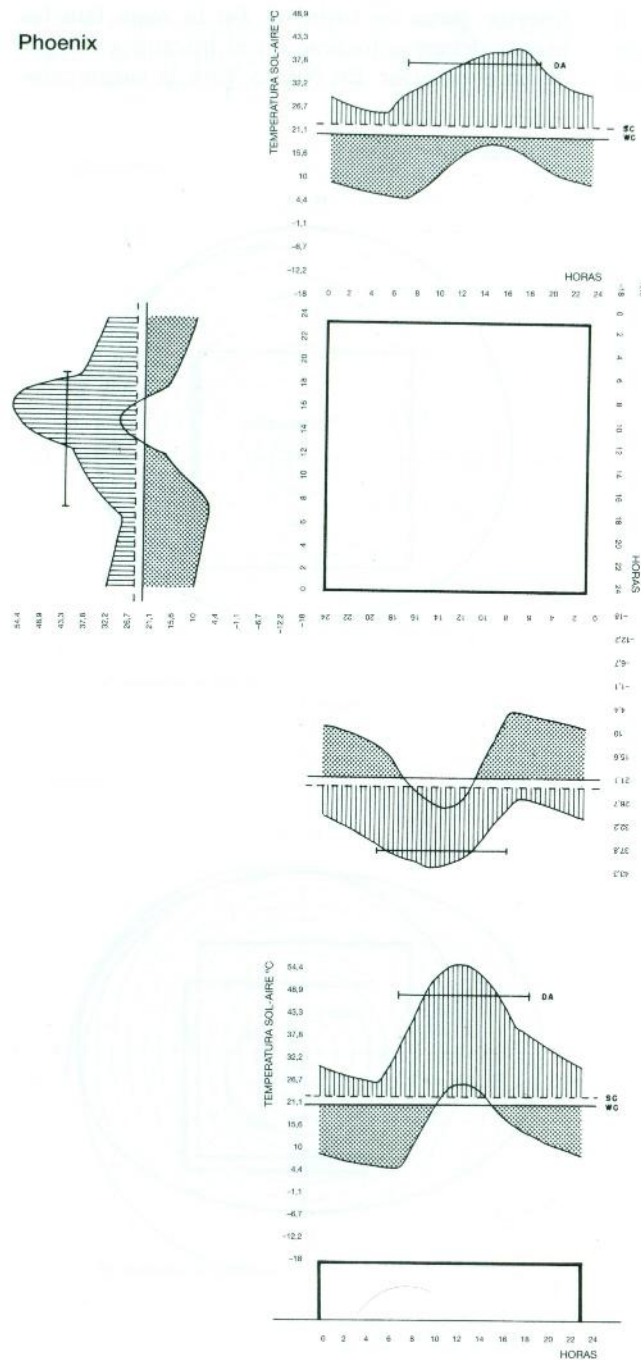
Minneápolis



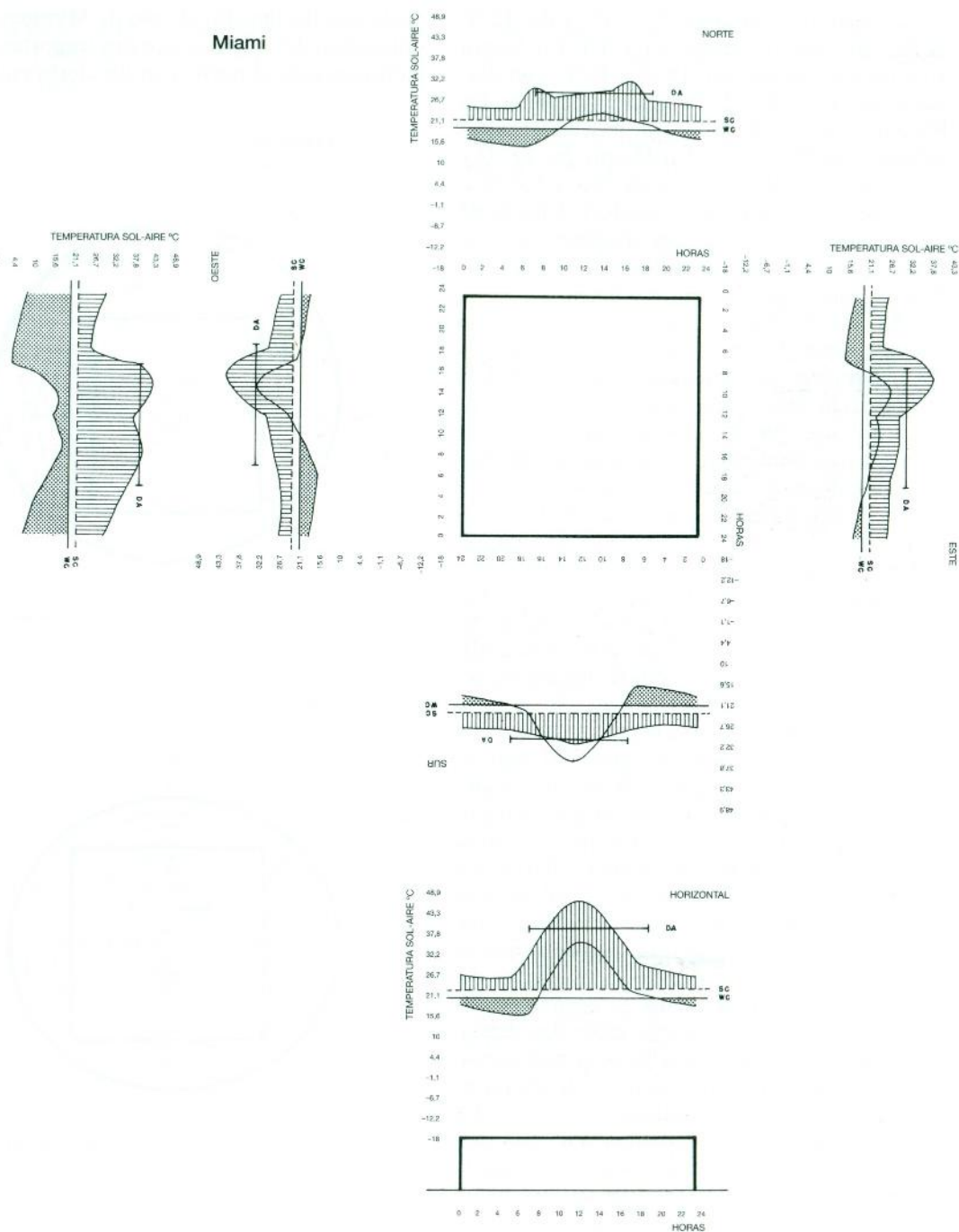
Nueva York



Phoenix



Miami



nes de confort invernales (21,1 °C), y de -12 °C de las de confort estival (23,3 °C). En Nueva York dichos valores son -18 °C y 35 °C, con desviaciones de 39 °C y 12 °C respectivamente. En Phoenix -48 °C y 40,6 °C, con desviaciones resultantes de 25 y 17 °C. En Miami, los 17 °C y 33 °C suponen desviaciones de 19,6 y 9,7 °C a partir de las condiciones de confort. A partir de estos datos térmicos se han adoptado las desviaciones máximas para indicar el valor del "índice de aislamiento" para cada lugar.

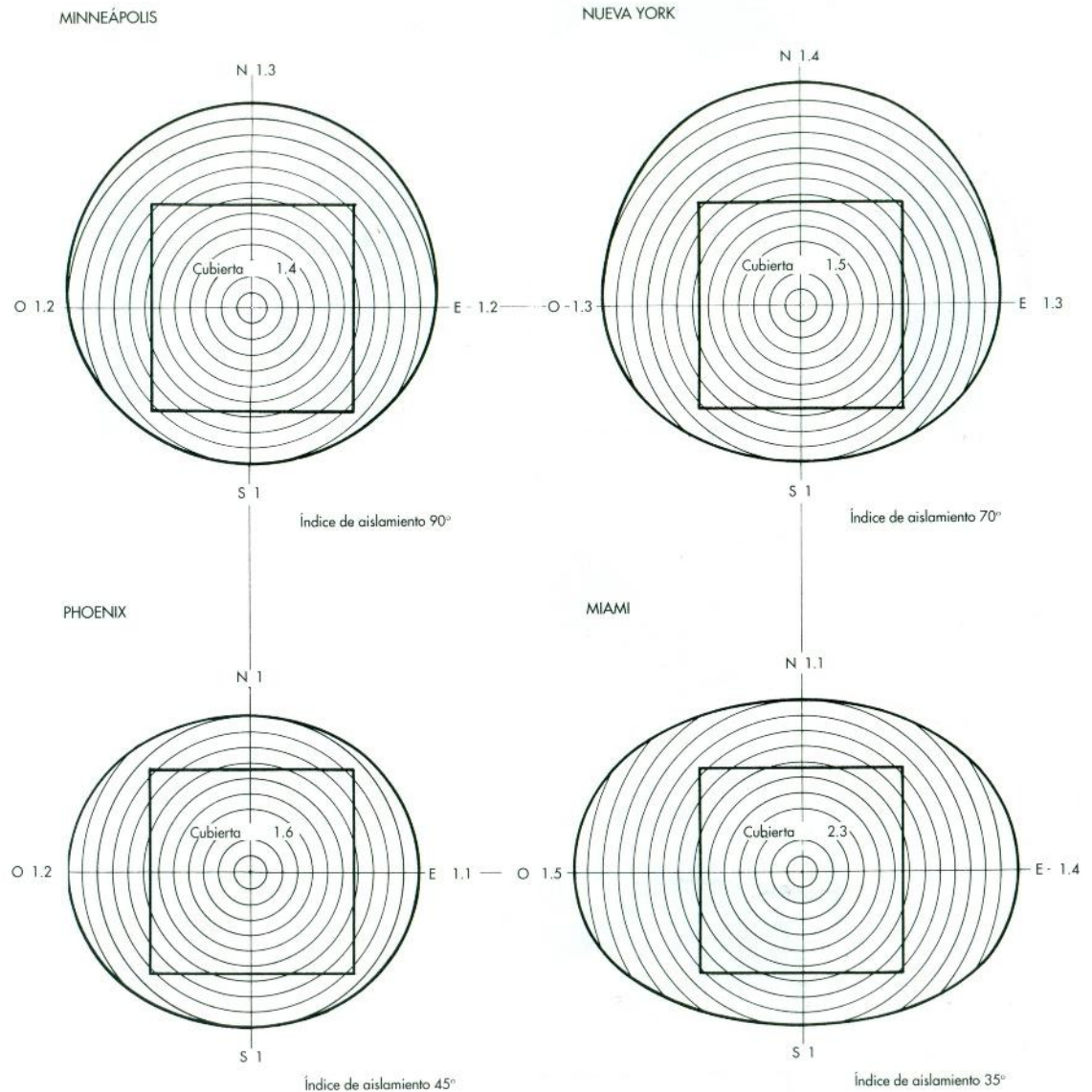
En los gráficos se ilustran, en forma de círculos concéntricos, los valores comparativos del aislamiento para cualquier orientación. Los valores indicados son el resultado de los cálculos sol-aire; por lo tanto, en aquellas zonas donde excepcionalmente predominan vientos direccionales muy fuertes, es preciso incrementar los componentes de la convección de acuerdo con este factor. La medición de las magnitudes se indica en relación al valor en la coordenada sur. Solamente las direcciones principales se indican con valores numéricos; cualquier otra orientación podrá leerse en la gráfica polar a través de los círculos concéntricos.

CARACTERÍSTICAS FAVORABLES DEL RETARDO POR INERCIA EN LAS DIFERENTES REGIONES. El bajo nivel de difusión característico de algunos materiales puede utilizarse eficazmente para amortiguar y desplazar en el tiempo la curva sinusoidal de los impactos térmicos diarios. La magnitud deseada de dicha capacidad aislante puede relacionarse con el peso total de la construcción en función de la variación de amplitud diurna. No obstante, calculando los efectos del flujo elemento por elemento, es posible equilibrar la distribución de carga calorífica diaria, desplazando los impactos a horas de baja carga.

Aquí mostramos un resumen de los retardos por inercia característicos más favorables para los cuatro emplazamientos. En estos gráficos se coloca un edificio esquemático en la parte central. Las líneas radiales corresponden a las horas. La inercia característica favorable para las orientaciones principales aparece indi-

cada con flechas. En el caso de Minneapolis, la dilatación del impacto oeste es importante y en latitudes más al norte, con un cierto equilibrio

interior, gana en utilidad. En la zona fría las masas deben colocarse en el interior en lugar de en el exterior. En Nueva York la carga calo-



241. Índices de aislamiento según la orientación para un efecto calorífico equilibrado.

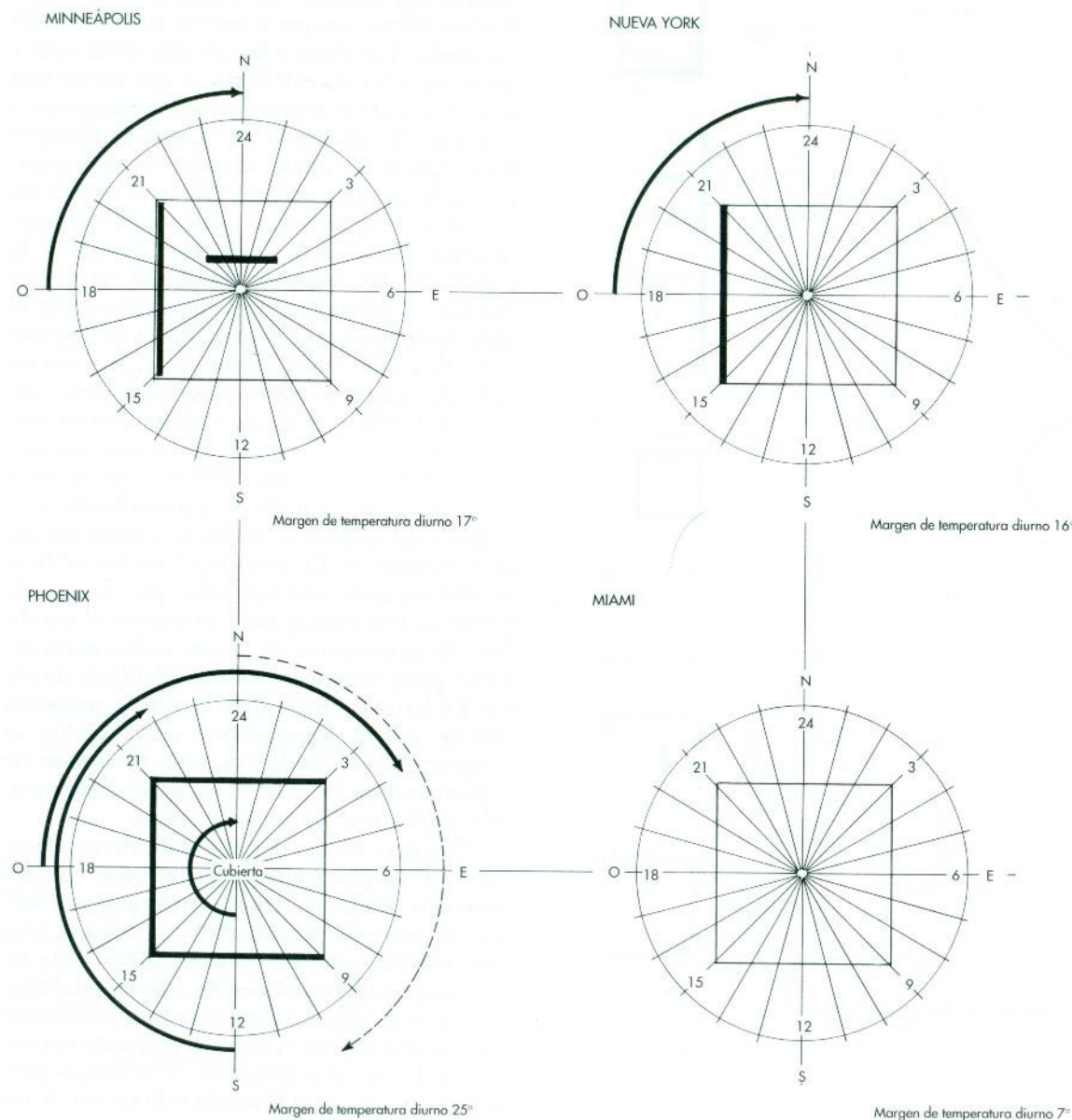
rífica más significativa incide en la fachada oeste, donde un retraso de seis horas contribuirá al equilibrio térmico. En Phoenix las

grandes variaciones diurnas hacen pensar en la necesidad de muros realizados con materiales pesados, relativamente menos importante al

norte y con pocos requerimientos de retardo temporal en el lado este. El efecto de la inercia en cubiertas situadas en regiones cálidas y áridas, es la tarea más importante y también la más difícil de afrontar. En Miami, las variaciones diarias son tan pequeñas que no garantizan un efecto de inercia; por tanto, las construcciones macizas y pesadas pueden estabilizar las temperaturas pero a costa de una presión de vapor muy alta. Por lo tanto, en este caso, son preferibles las construcciones ligeras.

CONCLUSIONES ACERCA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA DIVERSAS LATITUDES. A partir de las consideraciones previas, es posible realizar un resumen general para las diferentes regiones climáticas. En los gráficos el eje de las ordenadas señala las diferentes zonas climáticas, con sus latitudes aproximadas. En el de las abscisas superiores, se indican los valores de temperatura referidos a las necesidades de aislamiento. Las desviaciones a partir de las condiciones de confort están señaladas con una curva, en la cual los valores calculados aparecen en línea continua, mientras que los aproximados aparecen grafiados con línea discontinua. El eje inferior de las abscisas indica los márgenes de temperatura diurna durante el día. Estos datos pueden relacionarse con la curva de índice de retardo por inercia. Como es de esperar, la cantidad de aislamiento necesario aumenta a medida que las condiciones climáticas bajan de temperatura o las de proyecto se alejan de los parámetros de confort. El peso total requerido para lograr el retardo por inercia deseable variará de acuerdo con las fluctuaciones diarias de temperatura, el índice mayor se dará en áreas cálidas y secas.

Los métodos apropiados para aplicar estos principios aparecen en los esquemas de planta que se encuentran en el margen derecho del gráfico. En ambientes húmedos del trópico los materiales a utilizar deberán ser ligeros y con bajo índice de aislamiento. El clima típico de las islas tropicales requiere poco aislamiento, pero presenta una gran fluc-



242. Retardos por inercia característicos en función de las diferentes orientaciones de las superficies.

LATITUD Y ZONA
DESIGNADA

FRÍO
por encima de
los 50° de latitud

FRESCO
Latitud entre 45° y 50°

TEMPLADO
Latitud entre 35° y 42°

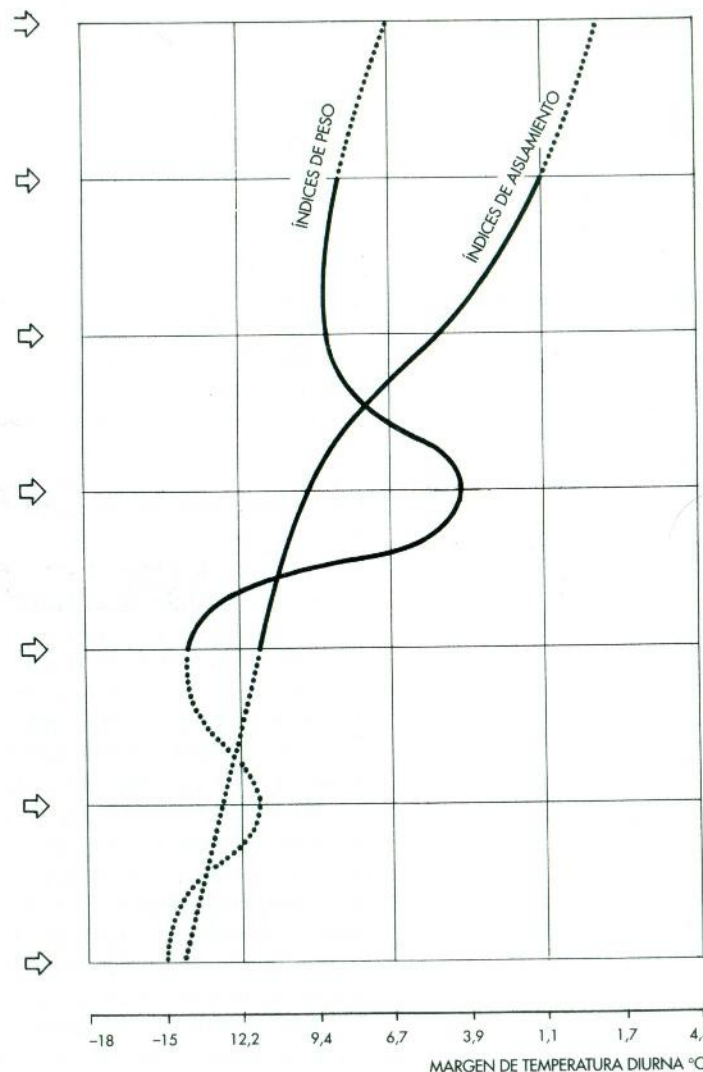
CÁLIDO-ÁRIDO
Latitud entre 15° y 30°

CÁLIDO-HÚMEDO
Latitud entre 15° y 25°

ISLA TROPICAL
Latitud entre 10° y 20°

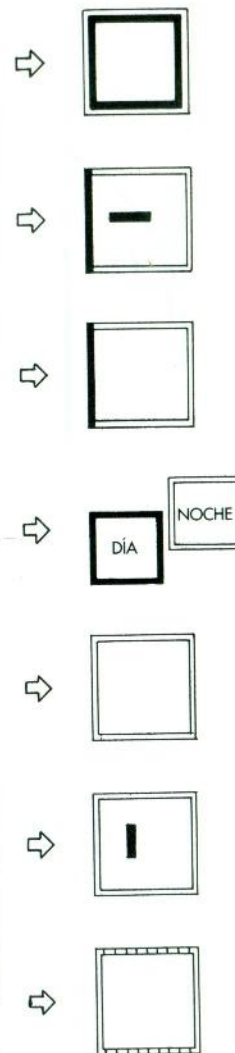
TROPICAL-HÚMEDO
Latitud entre 0° y 15°

ESCALA PARA LOS ÍNDICES DE AISLAMIENTO



ESCALA PARA VALORES DEL RETARDO

APLICACIÓN EN LOS
ESQUEMAS DE LAS
VIVIENDAS



tuación de temperatura diaria; si colocamos masa en el interior de la estructura podremos estabilizar las condiciones de la temperatura diaria. En áreas cálidas-húmedas, donde las variaciones diarias son pequeñas, un aislamiento ligero con poca inercia dará un buen resultado. Las exigencias de una zona seca y calurosa son más estrictas, ya que existe una gran variación entre los impactos nocturnos y diurnos. En este caso, es necesario proteger las zonas de actividad diurna con una construcción pesada y maciza, mientras que en los dormitorios el aislamiento será mínimo, permitiendo una rápida reacción al frescor de la noche. En las regiones templadas las partes macizas y pesadas deberán emplazarse en el lado oeste para captar y mantener el impacto calorífico que incide al atardecer, el resto de fachadas también tendrán su aislamiento correspondiente. Las zonas frías requieren mayor índice de aislamiento, los muros orientados a oeste se realizarán con material pesado, y el resto estará dotado de masa interior suficiente para equilibrar las fluctuaciones diarias de temperatura. En entornos fríos las edificaciones estarán caracterizadas por muros de construcción pesada para mantener el equilibrio de la temperatura, y con aislamiento exterior para reducir los escapes del flujo de calor. En latitudes muy altas, donde la variación diurna puede considerarse despreciable al compararla con las desviaciones de confort de la temperatura exterior, el índice de aislamiento será el único y principal criterio.

Algunas zonas, dependiendo de su orientación y emplazamiento en relación con los impactos térmicos, tienen "inviernos más largos" durante los períodos fríos y "veranos más calientes" durante las épocas cálidas. Este fenómeno requiere índices de aislamiento diferentes, mientras que el peso de la construcción estará definido por el margen diario de temperatura. Estas características combinadas proporcionan una pauta para la utilización de los materiales según las necesidades y orientaciones de cada región.

Parte 3

APLICACIÓN

XI. PLANIFICACIÓN HELIOTÉRMICA

CRITERIOS DE CONFORT

El principal objetivo al proyectar un edificio, desde el punto de vista térmico, consiste en lograr un ambiente interior cuyas condiciones se encuentren muy próximas a las de confort. Es decir que, en términos arquitectónicos, la planificación y el sistema constructivo de un edificio deben utilizar al máximo las posibilidades naturales para mejorar las condiciones interiores, sin recurrir a la utilización de aparatos mecánicos.

Pero, ¿cuánto beneficio puede obtenerse al aplicar los diferentes principios?, ¿cuánto pueden alterar las características arquitectónicas la situación térmica existente? Es evidente que cualquier mejora en la técnica constructiva incidirá directamente en el incremento del confort, aunque resultará muy difícil definir esta mejora con exactitud. No obstante, una expresión en términos más tangibles ayudará a la ilustración del problema: cualquier energía acumulada durante períodos fríos reducirá el coste de la calefacción; en períodos cálidos, cualquier cantidad de calor interceptada antes de alcanzar el interior representará una disminución del gasto en refrigeración. En los capítulos anteriores se han analizado diversos aspectos, pero es necesario interrelacionar las conclusiones. Es preciso reunir todo el material bajo un denominador común, con objeto de clarificar el procedimiento por el cual dichos factores actúan conjuntamente.

La descomposición del comportamiento calorífico en diferentes partes permite el análisis de la edificación, elemento por elemento, y el conocimiento de la importancia relativa de dichas partes en relación con la totalidad. Permite, asimismo, valorar situaciones superpuestas u opuestas para indicar las medidas que deberán tenerse en cuenta en cada ocasión específica.

CÁLCULO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA EDIFICACIÓN

La relación entre componentes —que afectan a la carga térmica y a sus variaciones durante el proceso de transmisión, hasta aparecer como carga calorífica en la superficie interior—, resulta en sí misma, un problema muy intrincado. Este aspecto se complica aún más debido a los amplios cambios cíclicos de las condiciones externas —que, además, suelen estar desfasados unos en relación a otros—, a las constantes variaciones en su magnitud y también a la inestabilidad de los niveles de temperatura interior. Además, el intercambio térmico interior entre objetos y la tendencia de los elementos estructurales y sus contenidos a almacenar calor y posteriormente cederlo, dificulta la definición de las condiciones térmicas resultantes de la estructura.

Hasta la actualidad se han desarrollado numerosos métodos de cálculo de la carga calorífica instantánea, basados en la conducción del calor. En este estudio se ha realizado una adaptación del método presentado por la Sociedad Americana de Ingenieros especialistas en Calefacción y Aire Acondicionado¹, para llevar a cabo los cálculos. Para el análisis de los impactos caloríficos exteriores sobre superficies opacas se ha utilizado la fórmula sol-aire, que combina los efectos de la radiación y de la temperatura en un parámetro único.² Ver apéndice A-5.

En los cálculos aplicados se ha considerado un intercambio de aire por hora para construcciones normales; mientras que, para las edificaciones desprotegidas, se ha considerado la mitad. En estos cálculos no se han incluido las ganancias por calor latente.

Para completar la síntesis térmica total se ha añadido una pequeña cantidad como com-

plemento del calor generado dentro de la vivienda. A este respecto, se ha considerado el producido por una persona, de 8 a.m. a 4 p.m., y el de otras tres a diferentes horas con una carga calorífica de 49,14 kcal/h por persona. Asimismo, se ha tomado en consideración un cierto funcionamiento de las luces y de los aparatos eléctricos de 6 a 7 a.m. y de 6 a 11 p.m., de la cocina a las 8 a.m. y nuevamente de 5 a 6 p.m., y de la lavadora en las primeras horas del día. En viviendas modificadas, se aplicó una reducción del calor generado por dichos electrodomésticos de acuerdo con su promedio de ventilación.

Debido a ciertas limitaciones, los cálculos dan una cantidad imperfecta de intercambio de radiación de onda larga, desprecian el efecto de almacenamiento en toda la construcción y utilizan coeficientes de velocidad de viento iguales para todas las orientaciones en el cálculo de la convección. No obstante, dichos cálculos pueden considerarse una medida apropiada para comparar el comportamiento relativo de diversas distribuciones en la edificación.

MÉTODO DE ANÁLISIS PARA LA PLANIFICACIÓN HELIOTÉRMICA

En ingeniería, la utilización del método de cálculo del flujo calorífico se aplica en edificaciones ya proyectadas, con objeto de determinar las cargas caloríficas y frigoríficas en condiciones térmicas próximas a las máximas. La interpretación arquitectónica de los problemas térmicos enfatiza la creación de una estructura que, en general, evita las fluctuaciones térmicas extremas y, como consecuencia, proporciona un estado de equilibrio cercano a las condiciones de confort. Por lo tanto, teniendo en cuenta el proceso habitual de cálculo

lo en ingeniería, el procedimiento arquitectónico consistirá en:

- A. Selección de fechas representativas de condiciones climáticas típicas anuales. En este caso se han adoptado como fechas ilustrativas para períodos fríos y calurosos el 21 de enero y el 21 de julio, respectivamente.
- B. Para el cálculo de la temperatura sol-aire y la transmisión de calor a través de la estructura se ha seguido el método normal. Posteriormente el proceso se ha invertido, seleccionando, a partir de las curvas de transmisión, aquellas que, con diferentes orientaciones, tienen un comportamiento más favorable (por ejemplo, absorción mínima de calor durante el verano, menor pérdida calorífica en invierno). Los esquemas correspondientes a una "casa equilibrada" representan la síntesis reconstruida de las curvas de flujo calorífico.
- C. Como medida de mejora y de evaluación de la importancia de los principios y elementos arquitectónicos, los resultados obtenidos se han referenciado a una edificación arbitraria que denominamos aquí la "casa ortodoxa". Las desviaciones a partir de dicha norma, ya sea positiva o negativamente, representan un índice de "habitabilidad térmica" y pueden expresarse en porcentajes.

La "casa ortodoxa" seleccionada está construida con 114 m² de carpintería aislante, posee un 20 %, aproximadamente, de superficie acristalada, distribuida equitativamente en relación a la superficie de la planta. Con objeto de establecer comparaciones se ha calculado el comportamiento de dicha vivienda en diferentes entornos.

Para el análisis de la "casa equilibrada" se han utilizado las mismas proporciones netas de muro, suelo y ventanas. Medidas conven-

cionales tales como situar ventanas orientadas a este y a oeste, en casas cuadradas, se mantienen a pesar de presentar desventajas térmicas. Las características de los materiales se alteraron solamente en aquellos casos en los cuales era posible verificar sus ventajas.

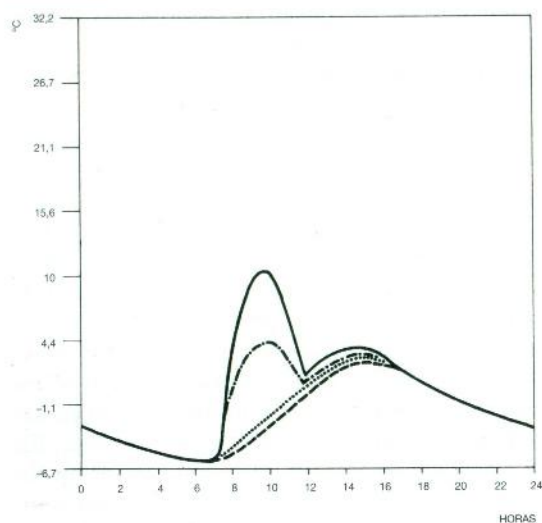
Los resultados comparativos expresan datos conservadores debido, principalmente, a que la vivienda ortodoxa es una construcción que permanece neutra a su entorno climático y no aparece tan desequilibrada como una casa desarrollada a lo largo de un eje norte-sur. Además, las comparaciones se han realizado tomando como referencia períodos de 24 horas, y no en base a horas puntuales o a datos correspondientes a puntas de carga calorífica, lo cual daría resultados mayores. En los cálculos realizados para una casa equilibrada se ha supuesto que ésta utilizaría e incorporaría las conclusiones descritas en los capítulos precedentes.

A continuación se describe detalladamente el método de cálculo realizado para la zona de Nueva York, mientras que los análisis de viviendas situadas en otras zonas se presentan de forma abreviada.

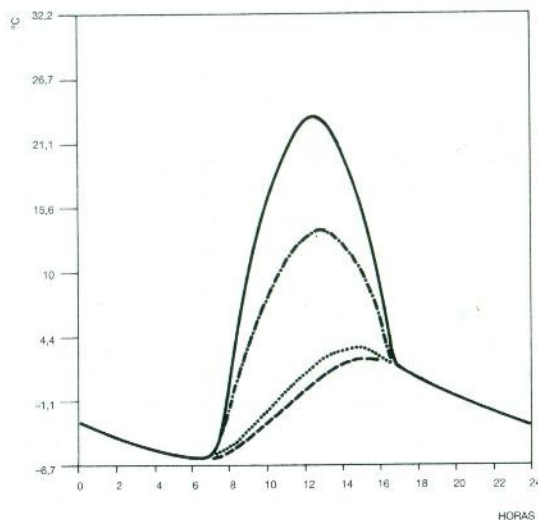
Debido a que las edificaciones emplazadas en zonas cálidas-secas y cálidas-húmedas presentan requerimientos especiales, también se ilustran ejemplos aplicados como complemento de los cálculos.

CÁLCULO DE LOS IMPACTOS SOL-AIRE. Las gráficas muestran los valores de temperatura sol-aire para las diferentes orientaciones de superficies diversas situadas en el área de Nueva York. Dichos datos corresponden a los de un día despejado de invierno (21 de enero) y de verano (21 de julio). Para calcular los impactos caloríficos del sol se han utilizado los datos del ábaco de radiación. El cálculo hora-a-hora proporcionó

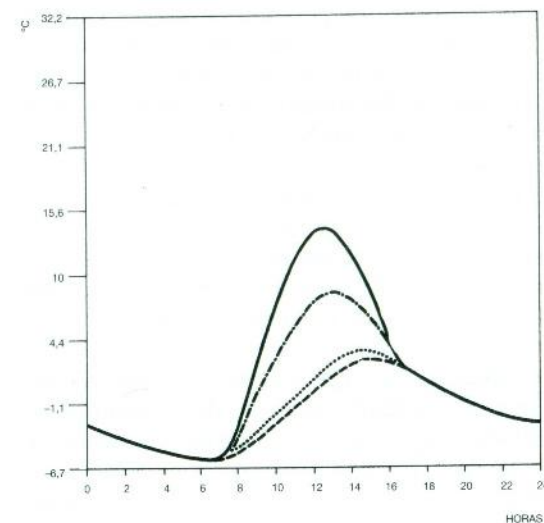
244. Este



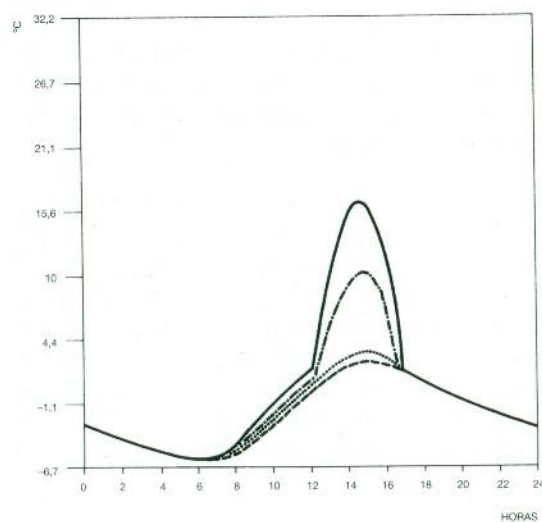
245. Sur



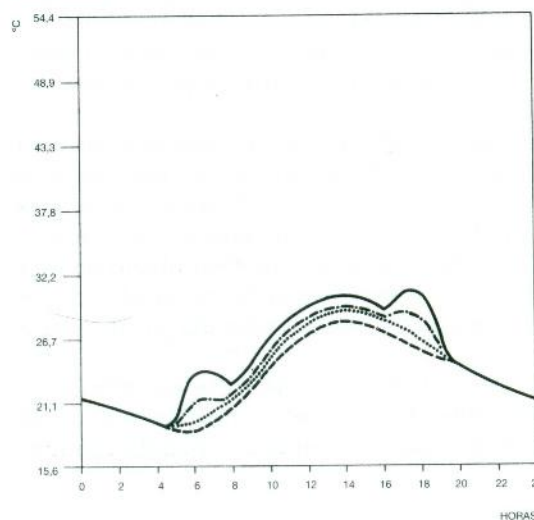
246. Horizontal



247. Oeste



248. Norte

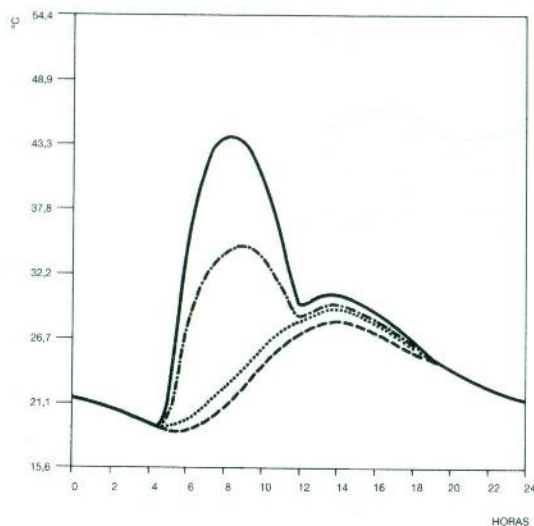


los siguientes resultados de kcal diarias totales; en ellos el primer número se refiere a la radiación directa, el segundo a la difusa y el último al impacto de radiación total.

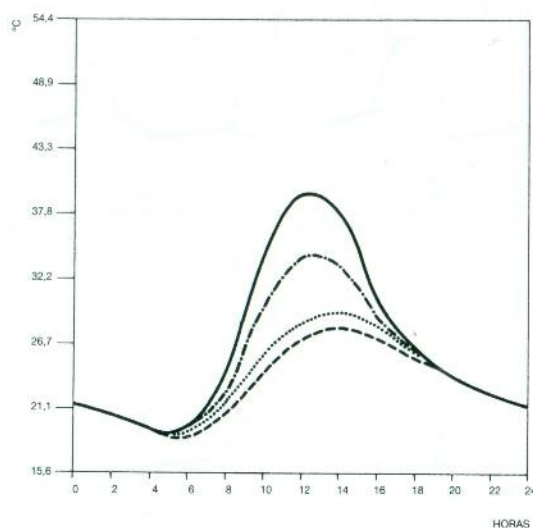
En invierno: este y oeste: 93, 38, 130; sur: 322, 53, 375; norte: 0,30, 30; horizontal: 157, 41, 198 kcal/día. En verano: este y oeste: 238, 84, 322; sur: 133, 78, 211; norte: 36, 72, 108; horizontal: 551, 109, 659 kcal/día.

Los impactos sol-aire recibidos por las diferentes caras se han calculado mediante la ecuación 1. En los gráficos el eje de ordenadas indica los grados de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), en el eje de abscisas se han indicado las horas del día en intervalos de dos horas. La gráfica correspondiente a temperatura seca está marcada en líneas discontinua, cuyos impactos de radiación están indicados arriba. La línea continua indica las temperaturas sol-aire recibidas por una superficie oscura ($\alpha = 0,7$). La curva a rayas y puntos indica lo mismo que la anterior pero por superficies exteriores claras ($\alpha = 0,4$). La línea de puntos se refiere a los planos en sombra ($\alpha = 0,7$), a partir del procedimiento habitual de considerar ésta la mitad del impacto de la radiación difusa sobre la superficie.

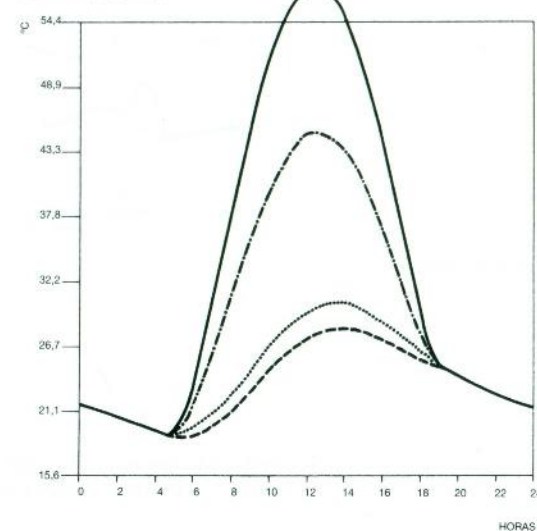
249. Este



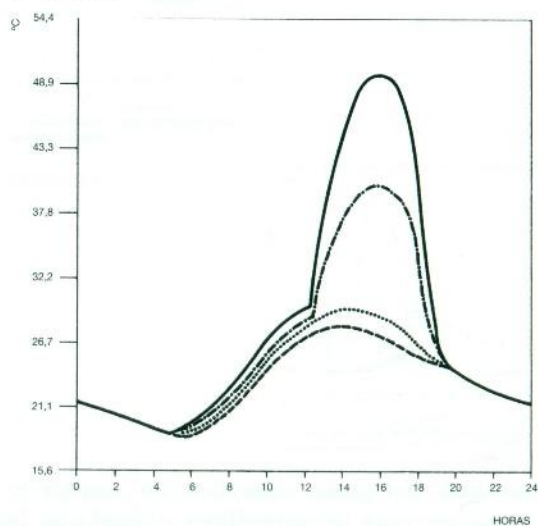
250. Sur



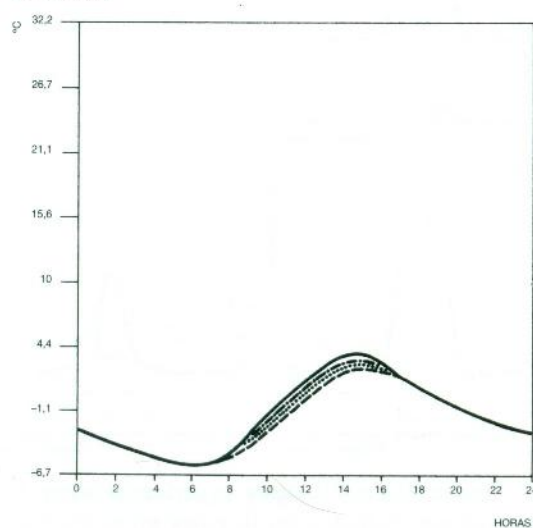
251. Horizontal



252. Oeste

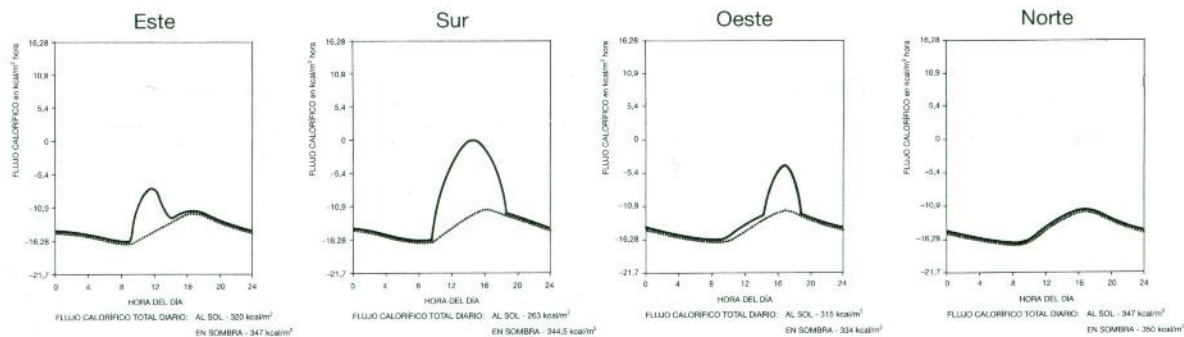


253. Norte



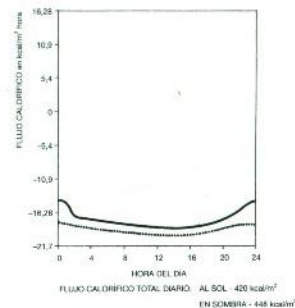
Los gráficos ilustran claramente las mayores temperaturas absorbidas durante ambas estaciones por superficies de color oscuro comparadas con las de color claro. Nótese, en invierno, la ventaja del lado sur con una punta de temperatura de 23,3 °C, y con una media diaria de 3,9 °C, comparada con la superficie horizontal que presenta 1,1 °C de media, los lados este y oeste con medias de 0 °C y finalmente la fachada norte, con sólo -1,67 °C de temperatura media durante todo el día. En verano, el impacto mayor incide sobre la superficie horizontal con puntas de 58,3 °C y con una media de 29,4 °C, los lados este y oeste presentan medias de 28,3 °C, aunque el lado oeste puede alcanzar puntas de temperatura hasta 5,6 grados más elevados que el este. El impacto en la fachada sur es relativamente bajo con 26,7 °C de media, y superado solamente por la orientación norte con temperaturas medias diarias de 24 °C.

Paredes de madera

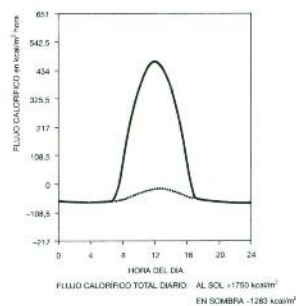


Muros de piedra

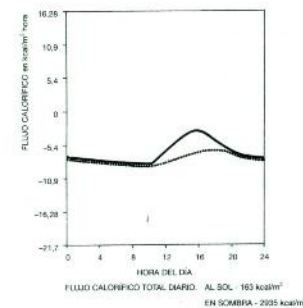
254-264. Transmisión calorífica de los materiales en invierno, área de Nueva York, 21 de enero.



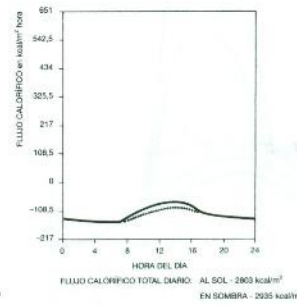
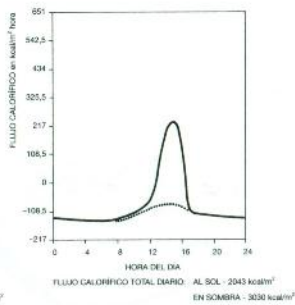
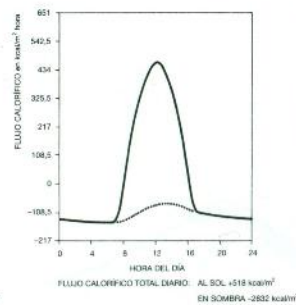
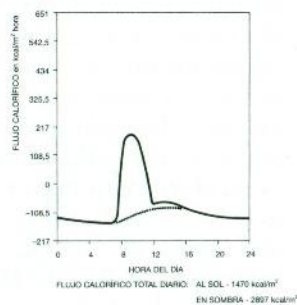
Doble vidrio



Cubierta plana



Vidrio sencillo

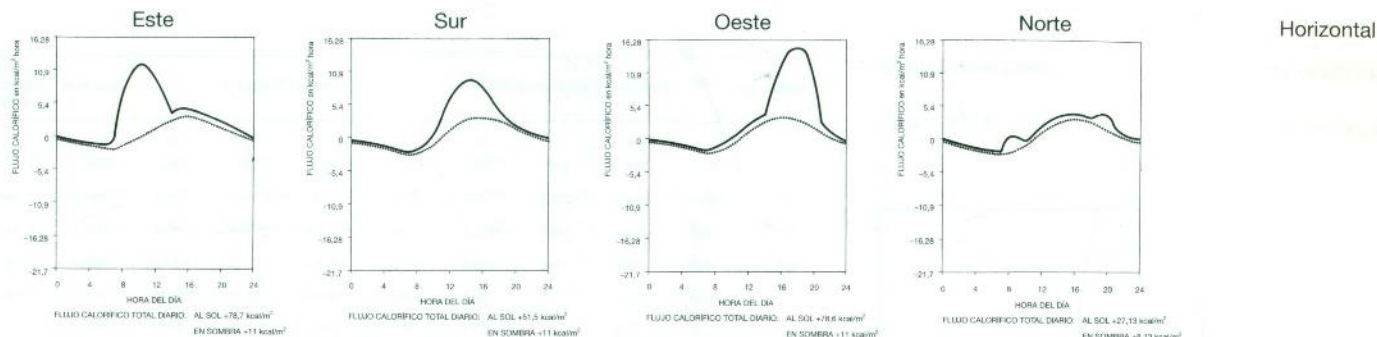


CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE CALOR DE LOS MATERIALES. Los gráficos muestran las características de transmisión de diversos materiales durante las épocas de invierno y de verano, en la zona de Nueva York.

Las tablas resultantes se ordenan según la orientación indicada en la parte superior. Los valores de transmisión se han calculado hora por hora utilizando las ecuaciones 2, 3 y 4. En las gráficas, el eje de ordenadas registra la

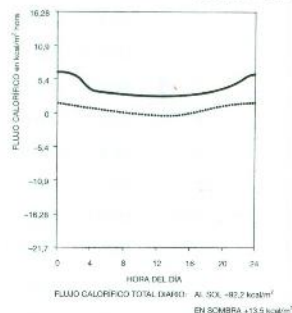
magnitud del flujo calorífico en kcal/m²/h. Nótese que para las superficies acristaladas la escala de flujo de calor es 20 veces mayor que para otros materiales, debido principalmente a su alto coeficiente de transmisión.

Paredes de madera

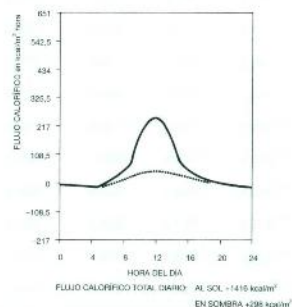


Muros de piedra

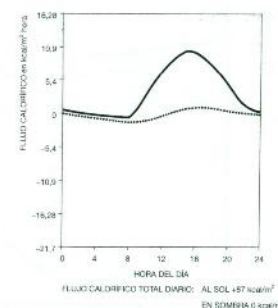
265-275. Transmisión calorífica de los materiales en verano, área de Nueva York, 21 de julio.



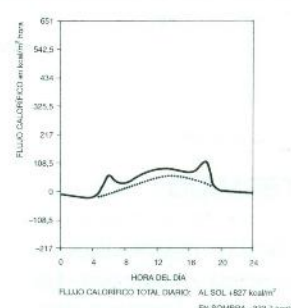
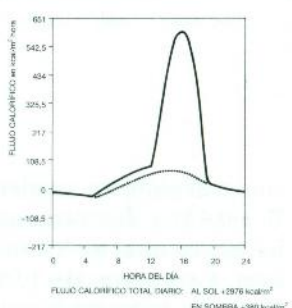
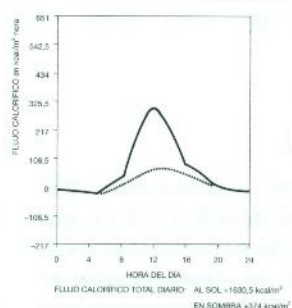
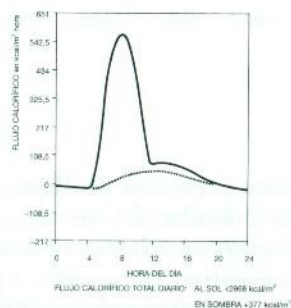
Doble vidrio



Cubierta plana



Vidrio sencillo



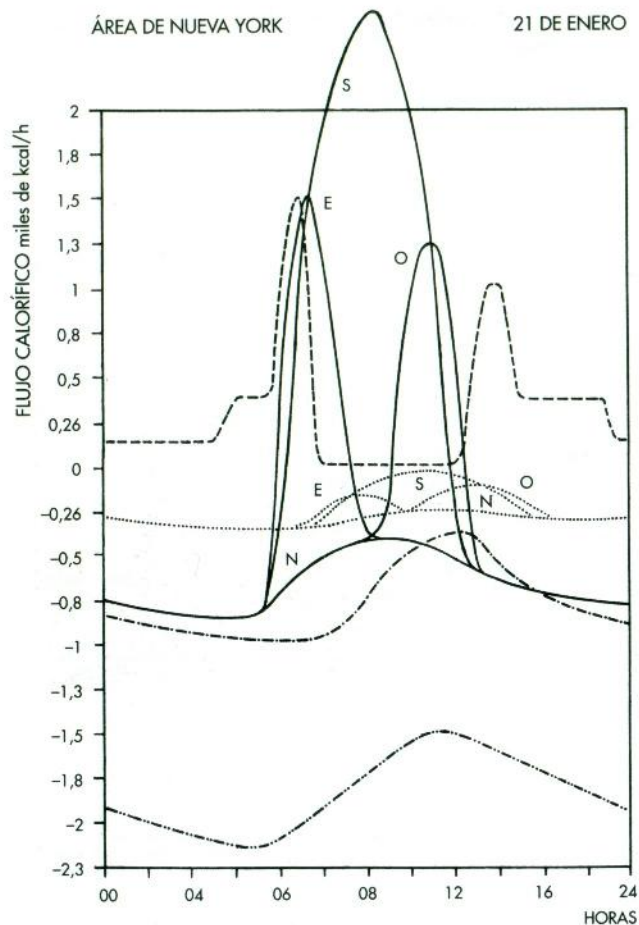
El eje de las abscisas señala las horas del día. La línea continua indica la transmisión calorífica durante el asoleo, y la discontinua la transmisión calorífica en condiciones de sombra.

Debajo de cada gráfico aparecen las sumas de los valores de transmisión calorífica en kcal. Las curvas de transmisión calorífica, algunas de las cuales se han tomado aquí como ejemplo, se han utilizado para calcular el com-

portamiento de la “casa ortodoxa”, también se han seleccionado ciertas curvas, cuyas características presentan mayores ventajas, para la evaluación de las edificaciones “climáticamente equilibradas”.

ÁREA DE NUEVA YORK

21 DE ENERO



HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO				CUBIERTA	CALOR CREADO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	S	O	N				
	220	220	220	220	60	60	60	60	1225			
0	-299,4	-293,8	-293,8	-305	-741	-741	-741	-741	-841,7	147,4	-1932,28	-6782,5
1	-305	-299,4	-299,4	-310,5	-756	-756	-756	-756	-841,7	147,4	-1978,2	-6910,5
2	-305	-305	-305	-310,5	-771,1	-771,1	-771,1	-771,1	-895,3	147,4	-2021	-7078,6
3	-310,5	-310,5	-310,5	-316	-8013	-8013	-8013	-8013	-895,3	147,4	-2066,4	-7267,1
4	-316	-316	-316	-327,1	-8013	-8013	-8013	-8013	-926,1	147,4	-2089	-7348,2
5	-327,1	-321,5	-321,5	-332,6	-816,5	-816,5	-816,5	-816,5	-926,1	147,4	-2133,2	-7480,5
6	-327,1	-327,1	-327,1	-332,6	-831,6	-831,6	-831,6	-831,6	-957,1	399,4	-2167,2	-7359,5
7	-332,6	-332,6	-332,6	-343,7	-831,6	-831,6	-831,6	-831,6	-957,1	399,4	-2167,2	-7392,8
8	-332,6	-332,6	-332,6	-343,7	468,7	45,4	-740,9	-725,7	-987,8	651,4	-2111,7	-4742,3
9	-332,6	-332,6	-332,6	-343,7	1542,2	1103,6	-620	-620	-987,8	1561,1	-2021	-1383,2
10	-116,4	-260,6	-321,5	-332,6	907,2	1844,6	-544,3	-544,3	-987,8	49,1	-1932,8	-2356
11	-171,8	-155,2	-299,4	-310,5	75,6	2343,6	-453,6	-483,8	-895,3	49,1	-1820,7	-2122,1
12	-166,3	-88,7	-282,7	-293,8	-408,2	2585,5	-408,2	-453,6	-740,9	49,1	-1711	-1919
13	-210,7	-33,3	-266,1	-277,2	-378	2449,4	151,2	-408,2	-586,6	49,1	-1599	-1109,3
14	-255	-5,5	-249,5	-260,6	-393,1	1995,8	1058,4	-393,1	-463,2	49,1	-1532,1	-448,8
15	-244	0	-171,8	-244	-423,3	-1300,3	1270,1	-423,3	-401,4	49,1	-1488	-776,4
16	-238,4	-33,3	-99,8	-238,4	-499	-272,2	710,6	-483,8	-370,4	49,1	-1510,7	-2986,1
17	-232,8	-83,2	-88,7	-232,8	-604,8	-604,8	-604,8	-604,8	-432,2	679,1	-1554,8	-4364,6
18	-244	-177,4	-138,6	-244	-620	-620	-620	-620	-525	1029,4	-1622,8	-4401,8
19	-255	-249,5	-249,5	-255	-650,1	-665,3	-650,1	-665,3	-679,1	399,4	-1711	-5630,6
20	-266,1	-260,6	-260,6	-266,1	-680,4	-680,4	-680,4	-680,4	-772	399,4	-1755,2	-5902,5
21	-277,2	-271,6	-271,6	-277,2	-695,5	-695,5	-695,5	-695,5	-722	399,4	-1822	-6074,1
22	-277,2	0	-277,2	-288,3	-725,7	-725,7	-725,7	-725,7	-833,6	399,4	-1866	-6323,1
23	-293,8	-288,3	-288,3	-293,8	-740,9	-740,9	-740,9	-740,9	-833,6	399,4	-1911,4	-6473,3
TOTAL DIARIO	-6553	-5355,4	-6431	-7079,6	-10175,6	2313,3	-10644,3	-15618,7	-18508,8	7945,4	-44525,2	-114632,7 kcal/día

276.

COMPORTAMIENTO TÉRMICO

LA EDIFICACIÓN EN LAS ZONAS TEMPLADAS.
"La casa ortodoxa" en las zonas templadas. La vivienda seleccionada es una construcción que posee características neutras en relación con su entorno climático. Se trata de una casa de forma cuadrada (10,7 m x 10,7 m) con una superficie de 114 m². Cada lado tiene un área de 26 m² constituida por 20,4 m² de

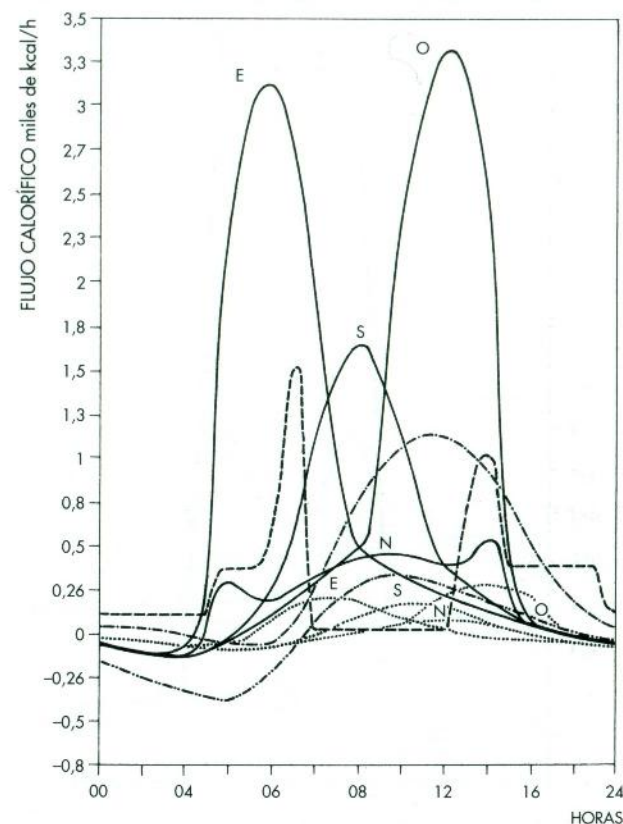
construcción en maderas oscuras ($\alpha = 0,7$, $U = 0,13$) y dos ventanas de 1,5 x 1,8 m. que hacen un total de 5,4 m² de superficie acristalada. La puerta, de 1,95 m², se encuentra situada en la fachada norte. La cubierta plana ($\alpha = 0,7$, $U = 0,07$) cubre la superficie total de 114 m².

En el gráfico se ilustra el comportamiento térmico durante el invierno de dicha vivienda situada en la zona de Nueva York, con

una previsión de flujo calorífico detallada a la derecha del mismo. En las tablas las columnas verticales indican los valores de flujo calorífico para cada tipo de material y en función de las horas del día, que están indicadas en las columnas más a la izquierda de las tablas, los valores totales por horas se resumen en las columnas del extremo derecho; debajo de cada columna se muestran las cantidades totales de flujo calorífico diario para

HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO				CUBIERTA	CALOR CREADO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	S	O	N				
	220	220	220	220	60	60	60	60	1225			
0	-0,5	-7,8	-2,8	-10,6	-60,5	-60,5	-60,5	-60,5	61,7	147,4	-155,5	-210
1	-3,3	-8,3	-6,1	-13,8	-60,5	-60,5	-60,5	-60,5	61,7	147,4	-178	-242,2
2	-9,3	-17,1	-12,1	-20,4	-90,7	-90,7	-90,7	-90,7	31	147,4	-222,3	-465,7
3	-12,8	-20	-16,1	-24	-105,8	-105,8	-105,8	-105,8	31	147,4	-266,6	-584,4
4	-18,4	-26,7	-21,7	-30,5	-121	-121	-121	-121	0	147,4	-311,2	-745
5	-24,4	-32,8	-6,05	-36,5	242	-121	-121	-15,1	0	147,4	-355,6	-344,7
6	-30,5	-39,3	-33,8	-43,3	2026	0	-15,1	332,6	-30,2	399,4	-355,6	2210,3
7	-8,3	-44,3	-39,3	-35,03	2963,5	121	75,6	211,7	-30,2	399,4	-355,6	3324,8
8	128,5	-37,8	-28,7	8,3	3160	226,8	166,3	196,5	-61,7	651,4	-200,1	4209,6
9	209	-8,3	-15,4	6,5	2782	604,8	241,9	272,2	92,7	1561,1	-66,8	5679,7
10	233,3	13,4	2,3	-2,3	2071,4	1149,1	347,7	347,7	308,7	49,1	89	4609,5
11	229,6	73,1	24,4	18,4	1103,7	1421,3	408,2	408,2	524,6	49,1	200,1	4460,8
12	196,3	130,3	49,4	43,8	453,6	1693,4	453,6	438,5	771,9	49,1	289	4569
13	141,9	165,8	66,5	61,5	468,7	1481,7	1164,2	468,7	957,1	49,1	355,6	5380,9
14	79,9	192,3	79,9	74,3	468,7	1255	2192,4	468,7	1080,3	49,1	377,7	6318,3
15	87,7	188	166,3	83,7	408,2	756	2993,7	438,5	1173	49,1	355,6	6699,8
16	88,7	171,4	241,2	86	362,9	423,4	3356,6	393,1	1142,1	49,1	311,2	6625,5
17	83,2	133,1	294,3	82,2	287,3	332,6	3175,2	423,4	1080,3	679,1	266,6	6837,2
18	73,1	86,4	304,4	72,1	196,6	211,7	2237,7	574,5	926,1	1029,4	178	5890
19	62,7	62,7	291,6	87,7	60,5	60,5	423,4	166,3	740,9	399,4	133,3	2489
20	46,1	38,3	205,1	86	30,2	30,2	30,2	30,2	524,6	399,4	66,8	1487,3
21	30	25,5	57,2	36,5	-15,1	-15,1	-15,1	-15,1	277,7	399,4	-22,2	743,6
22	21,2	14,9	19	12,1	-30,2	-30,2	-30,2	-30,2	154,5	399,4	-89	411
23	8,3	2,3	6	-1	-60,5	-60,5	-60,5	-60,5	123,5	399,4	111,1	185,5
TOTAL DIARIO	1611,8	1054,8	1604	541,5	16541	9102,1	16586,4	4611,5	9941,2	7945,4	0	69539,8 kcal/día

CASA ORTODOXA ÁREA DE NUEVA YORK 21 DE JULIO



277.

cada material. Los gráficos que aparecen junto a las tablas ilustran las curvas de flujo calorífico resultantes a partir de dichos cálculos.

Los cálculos resultantes indican que las diferentes pérdidas de calor proceden de las siguientes fuentes: construcción en madera, 5 % al este, 4 % al S, 5 % al oeste, 6 % al norte; superficie acristalada, 8 % al este, 8 % al oeste, 13 % al norte. La pérdida de calor a través de

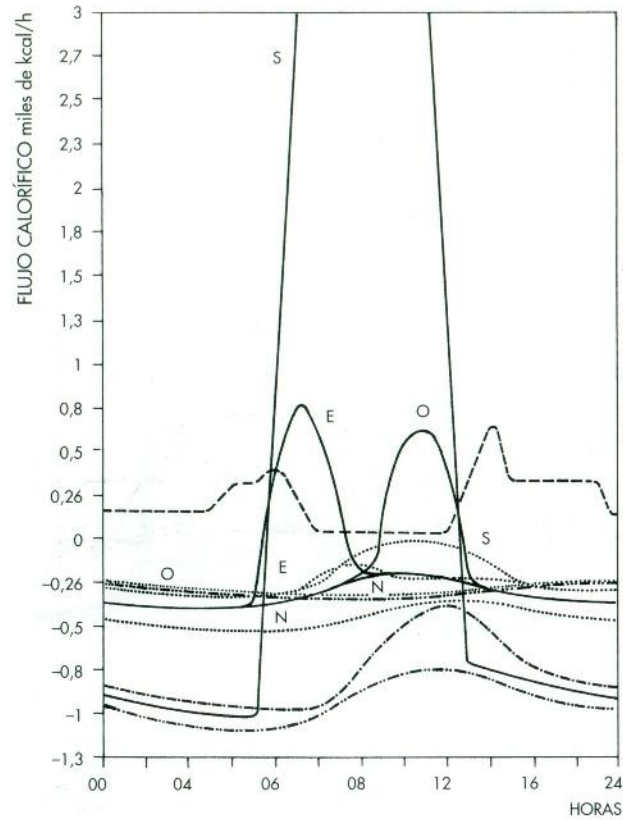
la cubierta es del 15 %, y a través de filtraciones, el 36 %. Existe una pequeña ganancia de calor del 2 %, a través de la ventana situada en la fachada sur, y el calor generado en el interior representa un 6 % de ganancia positiva, que hay que añadir a la suma total de pérdidas.

El comportamiento térmico de la casa ortodoxa durante el verano se calculó de forma similar, y los resultados respecto al flujo calo-

rífico se indican en el gráfico. Los datos de previsión de calor señalan que las ganancias caloríficas proceden de las siguientes fuentes: paredes de madera, un 12 % al este, un 2 % al oeste, 1 % al norte; ventanas 24 % al este, 13 % al sur, 24 % al oeste, y 7 % al norte. La ganancia a través de la cubierta es del 14 %, y el calor generado en el interior alcanza el 11 % del total.

CURVAS INDIVIDUALES

CASA EQUILIBRADA ÁREA DE NUEVA YORK 21 DE ENERO



HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA			MURO DE PIEDRA	VIDRIO SENCILLO			DOBLE VIDRIO	CUBIERTA	CALOR CREADO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	N	O	E	O	N	S				
	186	213	333	186	30	30	30	150	1225			
0	-0,25	-0,28	-0,46	-0,25	-0,37	-0,37	-0,37	-0,91	-0,86	147,4	-0,97	-4,95
1	-0,26	-0,29	-0,47	-0,27	-0,38	-0,38	-0,38	-0,91	-0,86	147,4	-0,99	-5,03
2	-0,26	-0,3	-0,47	-0,3	-0,39	-0,39	-0,39	-0,95	-0,9	147,4	-1,01	-5,18
3	-0,26	-0,3	-0,48	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,98	-0,9	147,4	-1,03	-5,31
4	-0,27	-0,31	-0,5	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,98	-0,93	147,4	-1,04	-5,38
5	-0,28	-0,31	-0,5	-0,3	-0,41	-0,41	-0,41	-0,98	-0,93	147,4	-1,07	-5,45
6	-0,28	-0,31	-0,5	-0,31	-0,41	-0,41	-0,41	-1,02	-0,96	0,34	-1,08	-5,38
7	-0,28	-0,32	-0,5	-0,31	-0,41	-0,41	-0,41	-1,02	-0,96	0,34	-1,08	-5,4
8	-0,29	-0,32	-0,5	-0,31	234,4	-0,37	-0,36	-0,91	-0,99	0,4	-1,06	-2,68
9	-0,29	-0,32	-0,5	-0,31	0,77	-0,31	-0,31	3,29	-0,99	200,3	-1,01	199,33
10	-196,8	-0,25	-0,5	-0,31	453,6	-0,27	-0,27	5	-0,99	49,1	-0,97	1,69
11	-145,4	-150,2	-0,47	-0,31	37,8	-227	-242	6,12	-0,9	49,1	-0,91	2,86
12	-140,6	-86	-0,44	-0,32	-204,1	-204,1	-227	6,5	-0,74	49,1	-0,86	3,37
13	-178,2	-32,3	-0,42	-0,32	-189	75,6	-204,1	6,24	-0,6	49,1	-0,8	3,63
14	-215,7	-5,3	-0,39	-0,32	-196,6	0,53	-196,6	5,14	-0,46	49,1	-0,77	3,16
15	-206,1	0	-0,37	-0,32	-211,7	0,64	-211,7	3,6	-0,4	49,1	-0,74	1,77
16	-201,6	-32,3	-0,36	-0,32	-249,5	0,36	-242	1,17	-0,37	49,1	-0,76	-0,96
17	-196,8	-80,6	-0,35	-0,32	-0,3	-0,3	-0,3	-0,72	-0,43	0,36	-0,78	-3,42
18	-206,1	-172	-0,37	-0,32	-0,31	-0,31	-0,31	-0,76	-0,52	0,65	-0,81	-3,43
19	-215,7	-241,7	-0,39	-0,31	-0,33	-0,33	-0,31	-0,79	-0,68	0,34	-0,86	-4,13
20	-225	-0,25	-0,4	-0,3	-0,34	-0,34	-0,34	-0,83	-0,77	0,34	-0,88	-4,35
21	-234,4	-0,26	-0,42	-0,3	-0,35	-0,35	-0,35	-0,87	-0,77	0,34	-0,91	-4,47
22	-239,2	-0,27	-0,44	-0,28	-0,36	-0,36	-0,36	-0,87	-0,83	0,34	-0,93	-4,61
23	-248,5	-0,28	-0,44	-0,26	-0,37	-0,37	-0,37	-0,91	-0,83	0,34	-0,96	-4,7
TOTAL DIARIO	-5,55	-5,2	-10,7	-7,28	-5,09	-5,32	-7,81	24,42	-18,55	5,2	-22,27	-58,15 kcal/día

278.

"La casa equilibrada" en las zonas templadas. En la vivienda modificada detallada aquí se han aplicado algunos de los principios descritos en los capítulos anteriores. En general esta casa es similar a la ortodoxa, con la misma superficie de planta, igual área acristalada y valores de transmisión similares. Los cambios se introdujeron en los materiales de las ventanas orientadas a sur, donde se colocó un doble acristalamiento ($U = 0,55$), y en el muro orien-

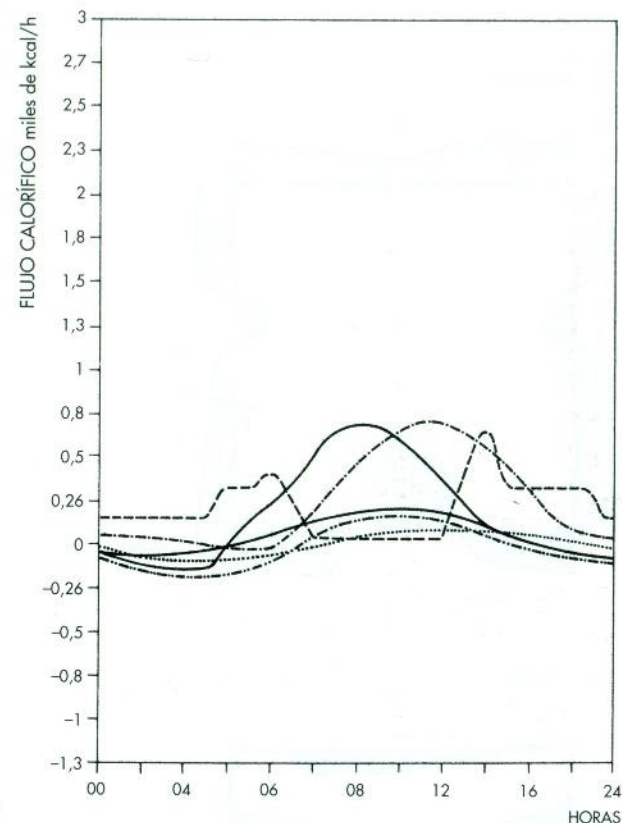
tado a oeste, que se construyó en piedra. La piedra, aunque tiene un alto valor de transmisión ($U = 0,23$), posee una influencia beneficiosa en el equilibrio de la capacidad calorífica a través del efecto de retardo por inercia. Por otra parte, se modificó la forma cuadrada de la edificación según las siguientes proporciones 1:1,68 a lo largo de un eje este-oeste. Las aberturas se reorganizaron concentrando la mayor superficie acristalada (14 m²) en la

fachada sur y manteniendo algunas ventanas en las otras orientaciones (3 m²), como medida conservadora, a pesar de su comportamiento térmico relativamente desfavorable. También se adaptaron algunos voladizos para asegurar la sombra en verano, las fachadas este y oeste se encuentran protegidas por los árboles adyacentes y, por lo tanto, los cálculos se han realizado en base a una media sombra. En la cubierta se dispuso un tipo de cubierta ventilada

HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA			MURO DE PIEDRA		VIDRIO SENCILLO			DOBLE VIDRIO	CUBIERTA	CALOR CREADO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	N	O	E	O	N	S					
	186	213	333	186	30	30	30	150	1225				
0	-5,3	-10,8	-16,6	67,8	-30,24	-30,24	-30,24	-75,6	37	147,4		-77,9	-24,7
1	-8,3	-16,1	-25,2	68	-30,24	-30,24	-30,24	-113,4	37	147,4		-89	-90,2
2	-15,4	-21,4	-33,5	66,5	-45,4	-45,4	-45,4	-113,4	18,7	147,4		-111,1	-198,3
3	-16,9	-21,4	-42,1	56,2	-53	-53	-53	-151,2	18,7	147,4		-133,3	-301,4
4	-21,7	-32,3	-50,4	42,3	-60,5	-60,5	-60,5	-151,2	0	147,4		-155,7	-403
5	-26,5	-37,5	-58,7	35,3	-60,5	-68	-53	-151,2	0	147,4		-178	-450,6
6	-31,5	-42,8	-67	30,7	0	-37,8	-30,2	0	-18,1	336,4		-178	-38,3
7	-29,7	-48,4	-75,6	30,7	45,4	-7,6	7,6	113,4	-18,1	336,4		-144,6	209,4
8	8,3	-42,8	-67	28,2	75,6	22,7	30,2	227	-37	399,4		-100	544,3
9	34	-26,7	-42,1	25,7	98,3	53	60,5	340,2	55,7	200,3		-33,5	765,3
10	49,1	-16,1	-25,2	25,7	121	98,3	98,3	529,2	185,2	49,1		44,6	1159,2
11	59	5,3	8,32	23,4	136	121	121	680,4	314,7	49,1		100	1618,3
12	61,2	27	42	21	143,6	143,6	136	680,4	463,2	49,1		144,6	1911,7
13	58	42,8	58,7	21	151,2	166,3	151,2	680,4	574,3	49,1		178	2131
14	49,6	59	84	18,7	151,2	181,4	158,8	529,2	648,1	49,1		189	2118,1
15	57,7	64,5	101	21	136	181,4	143,6	453,6	703,8	49,1		178	2089,6
16	58,5	69,8	109,1	21	121	174	128,5	340,2	685,2	49,1		155,7	1912
17	54,2	64,5	101	28,2	98,3	151,2	113,4	226,8	648,1	364,1		133,3	1983
18	48,6	53,7	92,2	35,3	68	105,8	83,2	113,4	555,6	651,4		89	1896,3
19	40,6	48,4	75,6	40	22,7	30,24	37,8	75,6	444,5	336,4		92	1218,4
20	27,2	32,3	50,4	44,6	-15,1	15,1	15,1	37,8	314,7	336,4		33,5	922,3
21	20	21,4	33,5	49,4	-7,56	-7,56	-7,56	0	166,6	336,4		-11,1	593,5
22	11,3	10,8	17	58,7	-15,1	-15,1	-15,1	-37,8	92,7	336,4		-44,6	399,2
23	1,5	0	0	65,8	-30,2	-30,2	-30,2	-75,6	74,1	336,4		-55,7	255,8
TOTAL DIARIO	483,6	182,95	268,6	925	1050,8	1058,4	930	4158	5964,8	5198,7		0	20214 kcal/día

CURVAS INDIVIDUALES

CASA EQUILIBRADA ÁREA DE NUEVA YORK 21 DE JULIO



279.

y pintada de color blanco. Las fuentes de calor en el interior de la vivienda se han calculado en función de su ventilación expulsada.

Las gráficas de transmisión y los cálculos de flujo calorífico, tanto para invierno como para verano, se han construido igual que para la vivienda ortodoxa.

La pérdida de calor total se produce a través de los siguientes elementos: por construcción en madera, 6 % por el este, 6 % por el sur

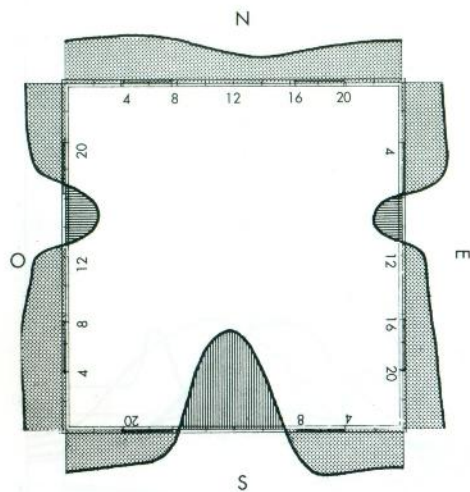
y 12 % por el norte; a través del muro de piedra situado al oeste, un 8 %; a través de las ventanas (con un solo panel de vidrio), 6 % por el este, 6 % por el oeste y 9 % por el norte. La pérdida de calor a través de la cubierta es del 21 %, y por filtraciones 26 %. La ventana situada al sur y doblemente acristalada admite una ganancia calorífica del 28 %, y el calor generado en el interior añade un 6 % a la ganancia total.

En verano, la ganancia calorífica se obtiene a través de las siguientes fuentes: Construcción de madera, por el este un 2 %, por el sur un 1 %, por el norte un 1 %; muro de piedra en la fachada oeste, un 5 %; ventanas (con un solo panel de vidrio), 5 % por el este, 5 % por el oeste y 5 % por el norte; a través de la ventana de doble panel, situada en la fachada sur, un 21 %. A través de la cubierta, un 29 %, y por último, el calor generado en el interior añade un 26 % del total.

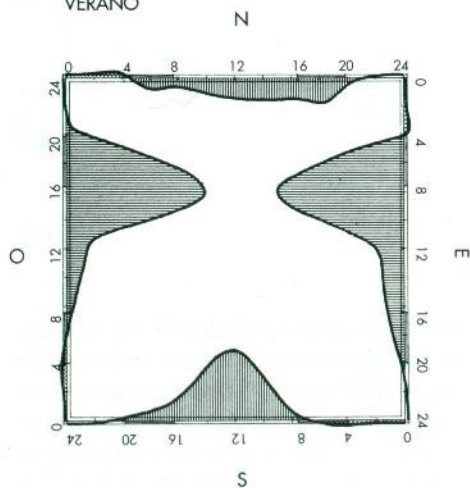
NUEVA YORK

CASA ORTODOXA

INVIERNO

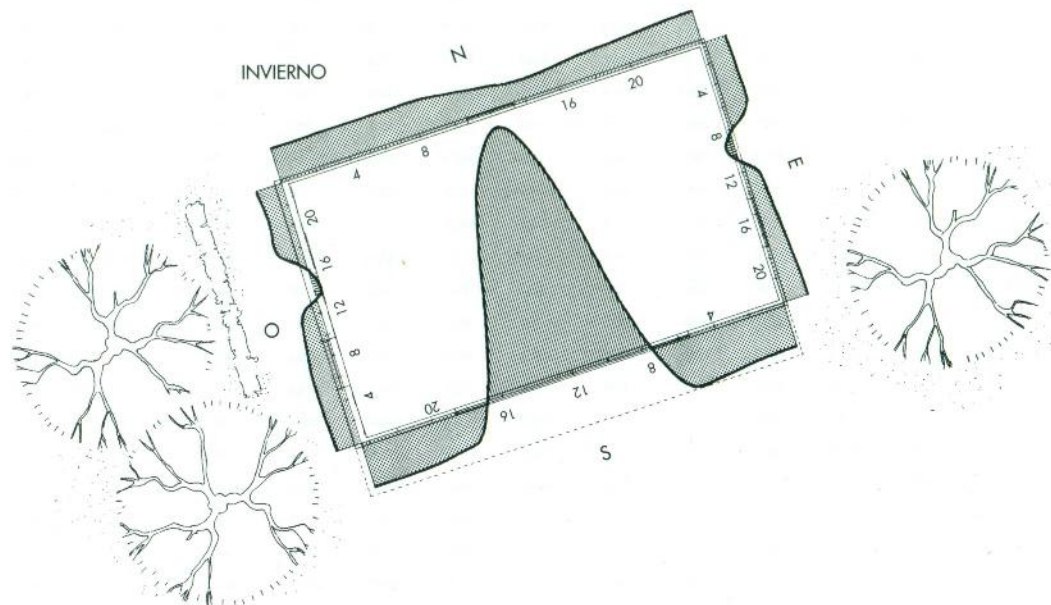


VERANO

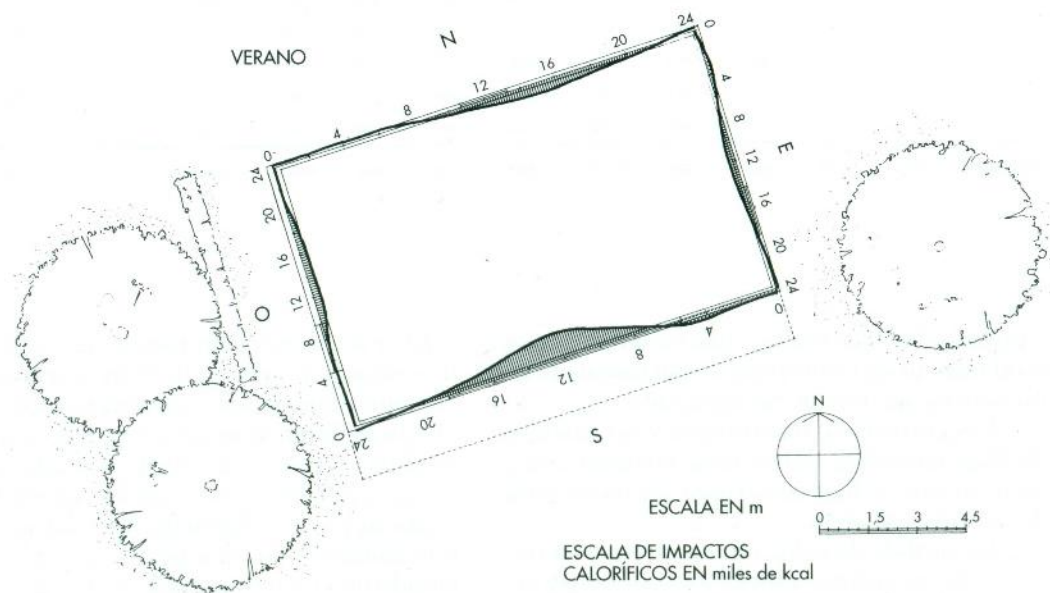


CASA EQUILIBRADA

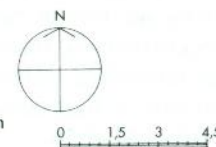
INVIERNO



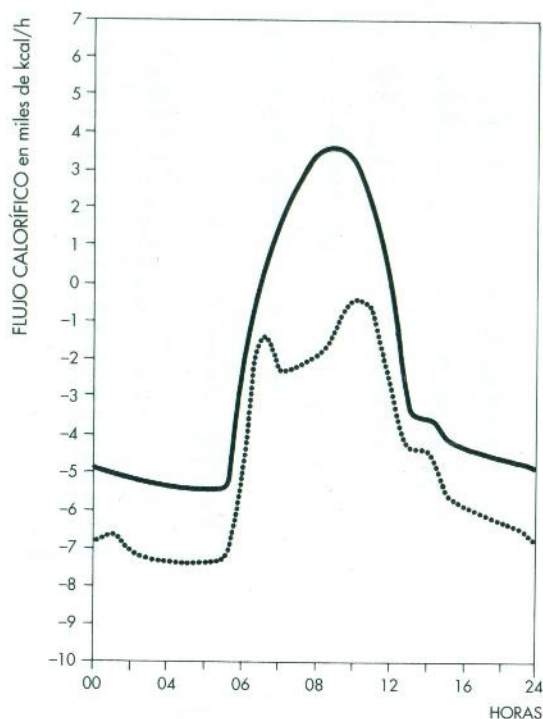
VERANO



ESCALA EN m



ESCALA DE IMPACTOS
CALORÍFICOS EN miles de kcal



281.

Conclusiones para el área de Nueva York. Los gráficos, realizados (para verano y para invierno) que acompañan los planos de planta de las viviendas ortodoxa y equilibrada, ilustran la comparación del comportamiento calorífico entre ambas. Para cada lado de la planta se indican las horas del día en el sentido de las horas del reloj. La cantidad de calor transmitido por hora y para cada superficie se tabula a partir de la zona central del muro; las ganancias caloríficas hacia el interior de la casa, y las pérdidas hacia el exterior. Así, para un momento dado, la suma de los impactos caloríficos en las cuatro orientaciones será la transmisión calorífica total de las fachadas de la edificación.

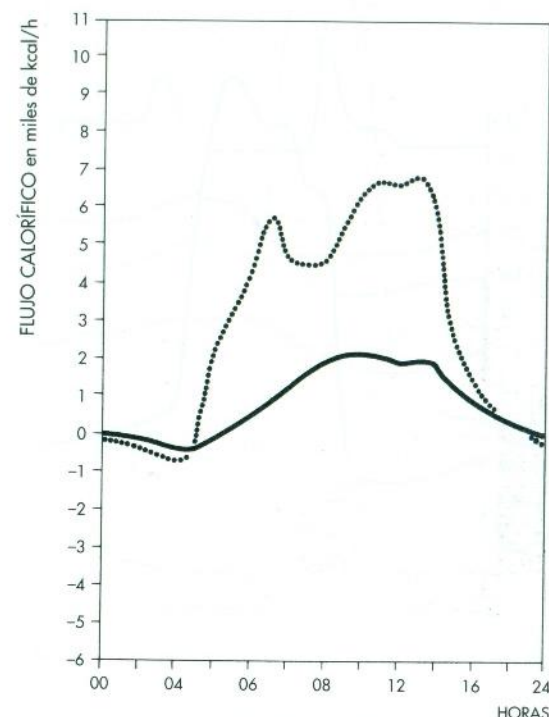
Aquí mostramos las curvas del flujo calorífico total diario correspondiente al invierno, tanto

de la casa equilibrada como de la ortodoxa. Nótese que esta última muestra un flujo negativo durante el día, mientras que la equilibrada gana calor durante unas siete horas. Las pérdidas de la casa equilibrada son también inferiores, lo cual provoca un mejor comportamiento calorífico que en el caso de la vivienda ortodoxa. También se muestran los flujos totales de calor diarios de ambas casas durante el período estival. La casa equilibrada reduce las puntas de calor de la casa ortodoxa de 6700 a 2131 kcal.

Las mejoras en cada estación son producto de las siguientes medidas: en invierno: la orientación, la forma de la casa y la redistribución de las aberturas (+21.780 kcal de ganancia) un 19 %; reducción de filtraciones (+22.004 kcal un 19 %, convección a través de las ventanas de doble vidrio (+16.961 kcal) un 15 %. El muro de piedra, debido a su bajo coeficiente de transmisión, produce una pérdida del 2 %. La ventilación de electrodomésticos que trabaja negativamente también provocará un 2 %. La reducción total de la pérdida calorífica es del 49 %.

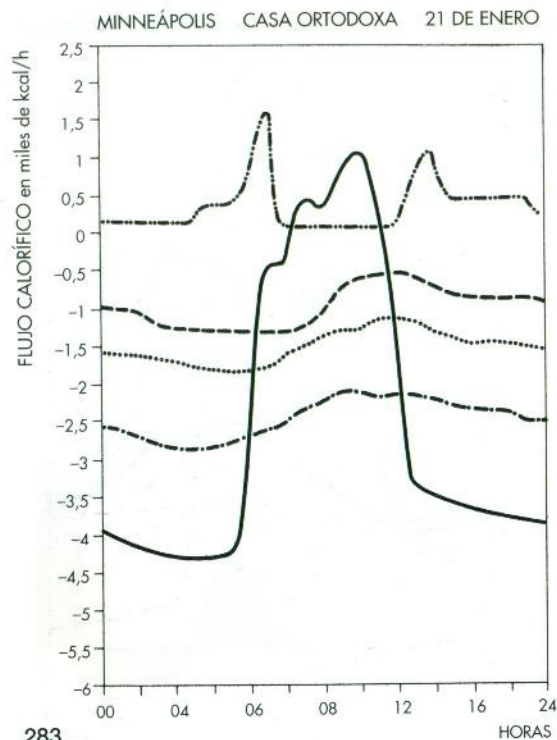
La aplicación de las medidas apropiadas durante el verano da los siguientes resultados: orientación, forma y distribución (-5528 kcal) un 8 %; sombra en superficies acristaladas (-33.366 kcal) 48 %; sombreado parcial de los muros (-3142 kcal) un 4 %; ventana de doble vidrio en fachada sur (-1058 kcal) un 2 %; modificación de la cubierta al cambiar el color y la ventilación (-3976 kcal) un 6 %; efecto de ventilación debido al calor creado en el interior (-2747 kcal) un 4 %. El muro de piedra orientado al oeste muestra una pérdida del 1 % total diario, no obstante, su efecto de compensación resulta favorecedor. La mejora total en relación con la vivienda ortodoxa alcanza el 71 %.

Partiendo de los datos estacionales es posible redactar un índice anual de medidas aplicables. Para este índice se tomó el siguiente criterio: las sumas del flujo calorífico transmitido se han multiplicado por el período de duración de la estación (72 % para el período frío y 28 % para el cálido), y debido a que el criterio de valoración final son las tensiones humanas, los

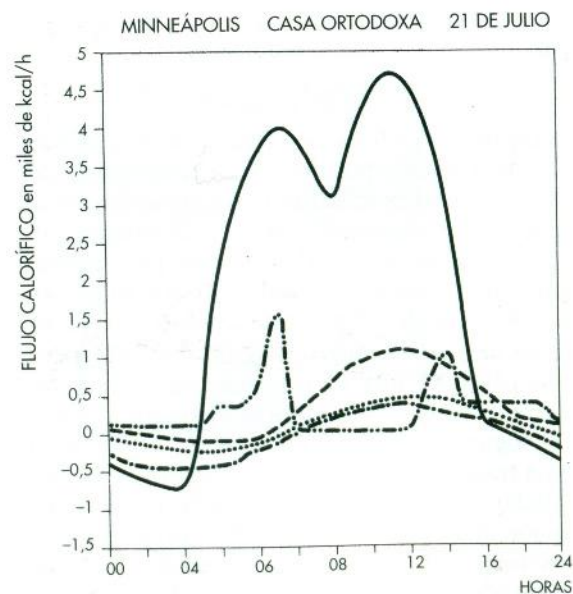


282.

impactos caloríficos del verano se multiplicaron nuevamente por dos. De acuerdo con todo lo anterior, los resultados de la evaluación anual muestran el siguiente orden: (1) la orientación es importante en ambos períodos, pero principalmente durante el período frío, con una valoración anual del 27 %; (2) la sombra en las ventanas alcanza la misma magnitud (27 %), pero solamente en una de las estaciones; (3) la reducción de las filtraciones se encuentra en tercer lugar, pero muy cerca, con un 23 %; (4) la baja transmisión calorífica en superficies acristaladas (doble vidrio) con el 18 %; (5) la ventilación de la cubierta con un 3 %; (6) sombra en los muros un 2 %; (7) tanto la ventilación de los electrodomésticos como el muro de piedra trabajan negativamente con un total del -3 %.



283.

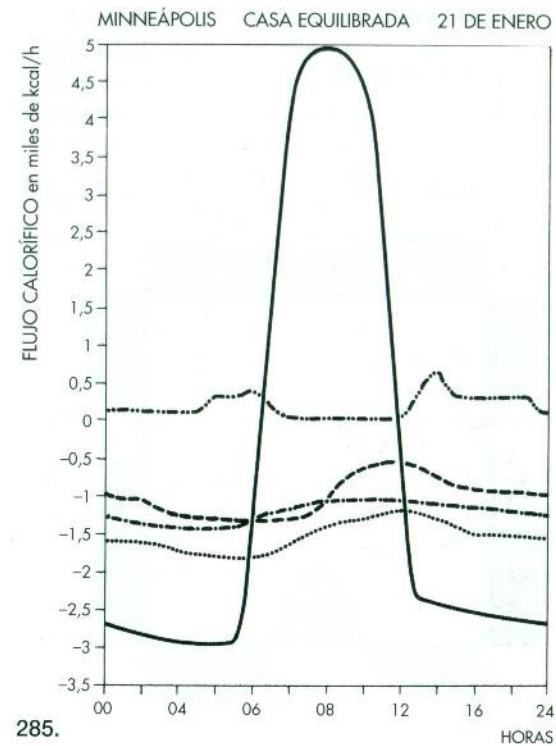


284.

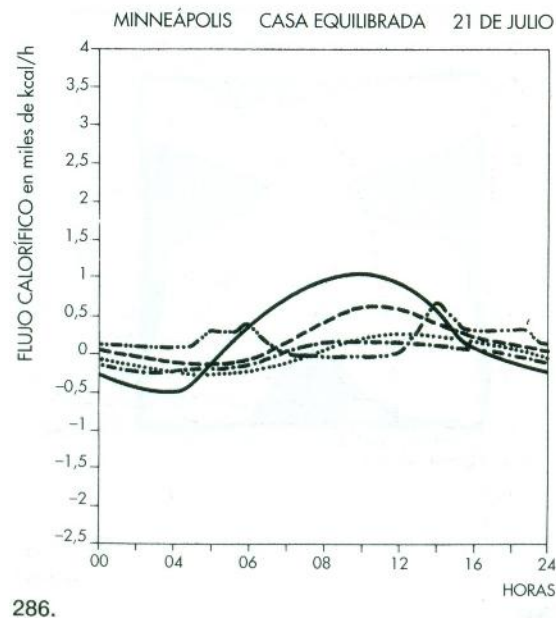
HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO				PUERTA	CUBIERTA	CALOR PRODUCIDO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	S	O	N					
	220	220	220	220	60	60	60	60		1225			
0	-400,7	-395,6	-395,6	-400,7	-998	-998	-998	-998	-4	-997	147,4	-2578,2	-9016,1
1	-408,2	-403,4	-406,2	-408,2	-1028,2	-1028,2	-1028,2	-1028,2	-4,3	-1012,5	147,4	-2667,2	-9275,4
2	-416	-411,3	-413,8	-416	-1058,4	-1058,4	-1058,4	-1058,4	-4,3	-1034,2	147,4	-2738,2	-9520,1
3	-428,6	-423,8	-427,1	-428,6	-1073,5	-1073,5	-1073,5	-1073,5	-4,5	-1228,5	147,4	-2800,5	-9888,5
4	-428,4	-434	-450	-428,4	-1088,6	-1088,6	-1088,6	-1088,6	-4,5	-1262,5	147,4	-2845,1	-10060
5	-448,8	-443,5	-446	-448,8	-1103,7	-1103,7	-1103,7	-1103,7	-4,5	-1290,2	147,4	-2871,5	-10221,1
6	-456,1	-449,8	-452,3	-456,1	-1088,6	-1088,6	-1088,6	-1088,6	-4,5	-1315	399,4	-2862,7	-9878,1
7	-458,6	-453,6	-456,1	-458,6	-1073,5	-1073,5	-1073,5	-1073,5	-4,5	-1333,6	399,4	-2818,4	-10060
8	-458,9	-453,1	-453,6	-458,9	-211,7	-559,4	-998	-988	-4,5	-1342,9	651,4	-2738,2	-8025,7
9	-451,1	-446	-448,1	-451,1	604,8	650,2	-877	-877	-4,5	-1339,6	1561,1	-2631,6	-4709,9
10	-407,2	-403,2	-435,2	-428,1	499	1512	-786,2	-786,2	-4,3	-1321,2	49,1	-2535,1	-5046,8
11	-350	-340,2	-415,8	-425,4	-121	1980,2	-710,6	-740,9	-4	-1268,8	49,1	-2409,4	-4756,2
12	-339	-291,1	-399,4	-403	-650,1	2237,7	-650,2	-710,6	-3,8	-1105,3	49,1	-2311,6	-4577,1
13	-342,7	-249,5	-375,5	-383,3	-820	2041,2	-30,2	-650,2	-3,5	-780,9	49,1	-2196	-3541,3
14	-365,1	-228,5	-377	-369,4	-635	1693,4	604,8	-635	-3,5	-657,5	49,1	-2142,5	-3066,3
15	-350	-219	-315	-352,5	-680,4	846,7	801,4	-680,4	-3,3	-605,1	49,1	-2259,6	-3768,2
16	-342,7	-235,4	-265,3	-345,2	-771,1	-332,6	15,1	-771,1	-3,3	-574,1	49,1	-2178,3	-5774,8
17	-345,2	-269,1	-281	-346,5	-861,8	-861,8	-861,8	-861,8	-3,5	-629,7	679,1	-2222,6	-6866
18	-355,3	-317,5	-327,6	-355,1	-877	-877	-877	-877	-3,5	-737,8	1029,4	-2267	-6842,3
19	-365,1	-360,4	-364,6	-365,1	-892,1	-892,1	-892,1	-892,1	-3,8	-876,7	399,4	-2338,5	-7843,2
20	-370,4	-366,6	-427,1	-370,4	-970,2	-970,2	-970,2	-970,2	-3,8	-916,7	399,4	-2373,8	-8058,4
21	-378	-375	-378	-378	-937,4	-937,4	-937,4	-937,4	-3,8	-935,4	399,4	-2427	-8225,5
22	-386,8	-382,8	-375	-386,8	-937,4	-937,4	-937,4	-937,4	-4	-956,8	399,4	-2462,5	-8305,2
23	-394,1	-390,6	-393,1	-394,1	-967,7	-967,7	-967,7	-967,7	-4	-975,5	399,4	-2525	-8547,8
TOTAL DIARIO	-9448	-8743,1	-9498	-9658,6	-17478,7	-4823,3	-17524,1	-21742,5	-965	24497,7	7945,5	60200,8	-175765,7 kcal/día

HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO				PUERTA	CUBIERTA	CALOR PRODUCIDO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	S	O	N					
	220	220	220	220	60	60	60	60		1225			
0	-6,04	-9,8	-7,5	-12,1	-120,8	-120,8	-90,7	-120,8	-0,25	74,1	147,4	-266,6	-489,1
1	-18,4	-22,7	-19,9	-25,4	-136,1	-136,1	-120,9	-136,1	-0,25	40	147,4	-355,6	-783,9
2	-30,5	-35,5	-32	-38,3	-166,3	-166,3	-151,2	-166,3	-0,5	6	147,4	-444,5	-1078,1
3	-42,1	-48,1	-44,8	-50,9	-166,3	-166,3	-151,2	-166,3	-0,5	-30,7	147,4	-462,4	-1182,4
4	-54,4	-60,5	-57,2	-64,3	-181,4	-181,4	-166,3	-181,4	-0,5	-60,7	147,4	-471,2	-1336,1
5	-56,4	-63,2	-60	-66,5	514,1	-136,1	-120,9	-120,9	-0,5	-98,8	147,4	-482,4	-524,4
6	-57,7	-64,3	-60,9	-68,3	2011	-15,1	-30,2	332,6	-0,5	-104,8	399,4	-426,6	1914,4
7	-23,2	-61,5	-57,7	-50,4	2918,2	75,6	60,5	136,1	-0,5	-107,8	399,4	-355,6	2933
8	55,9	-50,4	-48,8	-29,5	3084,5	226,8	151,2	181,4	-0,5	-80,1	651,4	-207,1	3934,7
9	92,5	-37	-36	-30,5	2767	756	226,8	272,2	-0,25	52,4	1561,1	-80,1	5544
10	116,4	-3,3	-14,8	-17,6	1995,8	1270,1	317,5	332,6	0	253	49,1	44,3	4343,2
11	122,5	45,4	6,5	3,8	1058,4	1663,2	393,1	408,2	0,25	487,6	49,1	177,9	4416
12	110,4	85,4	25,4	23,2	453,6	1784,2	438,5	438,5	0,25	709,8	49,1	284,5	4402,9
13	89,2	117	45,8	43,3	468,7	1754	1103,7	468,7	0,5	885,8	49,1	355,6	5381,5
14	62	135,3	63,2	59,2	453,6	1391	2116,8	468,7	0,5	1006,2	49,1	400,2	6206
15	69,8	142,4	116,4	69,3	408,2	907,2	2933,3	453,6	0,5	1077,3	49,1	400,2	6627,3
16	73,8	135,8	163	75,3	378	483,8	3311,3	423,4	0,5	1074,3	49,1	382,3	6550,7
17	72,6	113,6	192,3	75,3	302,4	332,6	3160,1	393,1	0,5	1024,8	679,1	311,2	6657,8
18	67,5	82	203,4	71,1	226,8	257	2268	604,8	0,5	895,1	1029,4	248,9	5954,5
19	56	57,7	187,5	60	105,8	105,8	740,9	362,9	0,25	722,2	399,4	177,9	2983,4
20	44,8	46,1	150,7	69,3	30,2	30,2	30,2	30,2	0,25	512,3	399,4	88,9	1432,8
21	31,5	30	59,2	42,6	0	0	0	0	0	317,7	399,4	0	880,5
22	17,6	15,4	20,4	13,8	-30,2	-30,2	-30,2	-30,2	0	166,6	399,4	-88,9	423,4
23	5,5	2,7	4,5	0,5	-75,6	-75,6	-75,6	-75,6	0,25	107,8	399,4	-177,9	55,2
TOTAL DIARIO	-3172	552,4	798,6	160	16314,5	10024,5	16329,8	4324,3	-0,5	89264	7945,6	-927,1	65247,6 kcal/día

HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO			DOBLE VIDRIO	PUERTA	CUBIERTA	CALOR PRODUCIDO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	O	N						
	234	146	234	266	30	30	30	150		1225			
0	-425,1	-262,1	-423,9	-483,3	-498,9	-498,9	-498,9	-1209,8	-4	-996,9	147,4	-1289,2	-6443,6
1	-434,4	-268,1	-432,7	-493,9	-514,1	-514,1	-514,1	-1247,4	-4,3	-1012,5	147,4	-1333,6	-6621,8
2	-442,7	-272,9	-441	-503,5	-529,2	-529,2	-529,2	-1285,2	-4,3	-1003,9	147,4	-1369,1	-6792,9
3	-456,8	-281,2	-454,1	-519,6	-536,7	-536,7	-536,7	-1323	-4,5	-1226,5	147,4	-1400,4	-7131,1
4	-467,5	-288,5	-464,7	-531,5	-544,3	-544,3	-544,3	-1323	-4,5	-1262,5	147,4	-1422,5	-7250,3
5	-477,5	-294,3	-474	-543,1	-551,8	-551,8	-551,8	-1380,8	-4,5	-1290,2	147,4	-1435,4	-7388,1
6	-484,6	-298,4	-480,5	-551,1	-544,3	-544,3	-544,3	-1323	-4,5	-1314,9	336,4	-1418,7	-7172,4
7	-488,6	-300,8	-485,3	-555,6	-536,7	-536,7	-536,7	-1323	-4,5	-1333,6	336,4	-1409,2	-7174,7
8	-496,8	-300,1	-482,8	-553,6	-105,8	-498,9	-498,9	-151,2	-4,5	-1342,6	399,4	-1369,1	-5395,3
9	-479,8	-295,8	-476,5	-545,6	302,4	-438,5	-438,5	2570,4	-4,5	-1339,6	200,3	-1315,7	-2261,4
10	-433,2	-266,8	-462,4	-530,2	248,5	-393,1	-393,1	4536	-4,3	-1321,2	49,1	-1266,8	-236,6
11	-371,9	-225,3	-442,2	-506,7	-80,5	-355,3	-370,4	5405,4	-4	-1268,5	49,1	-1204,5	644,9
12	-360,1	-193	-424,6	-486,6	-325,1	-325,1	-355,3	6010,2	-3,7	-1105	49,1	-1155,9	1324,8
13	-364,9	-165,5	-404,5	-463,9	-309,9	-15,1	-325,1	5,5	-3,5	-780,9	49,1	-1097,9	1636,5
14	-387,8	-152,4	-388,1	-446,5	-317,5	302,4	-317,5	4725	-3,5	-657,4	49,1	-1071,2	1335,1
15	-371,9	-145,4	-334,9	-425,6	-340,2	400,7	-340,2	2797,2	-3,2	-605	49,1	-1066,2	-385,8
16	-364,9	-155,9	-303,6	-417,5	-385,5	7,5	-385,5	113,4	-3,2	-574	49,1	-1089,1	-3509,6
17	-367,2	-178,4	-298,9	-419,1	-430,9	-430,9	-430,9	-1058,4	-3,5	-629,7	364,1	-1111,3	-4995,1
18	-377,7	-214,2	-348,5	-431,7	-438,5	-438,5	-438,5	-1058,4	-3,5	-737,6	651,4	-1133,5	-4962,2
19	-387,8	-239,1	-388,1	-441	-446	-446	-446	-1096,2	-3,7	-876,7	336,4	-1160,2	-5594,7
20	-394,4	-243,7	-454,1	-446,5	-453,6	-453,6	-453,6	-1096,2	-3,7	-916,7	336,4	-1186,9	-5770,3
21	-402,7	-248,7	-402,7	-457,9	-468,7	-468,7	-468,7	-1134	-3,7	-935,2	336,4	-1213,6	-6868,3
22	-410,7	-253,7	-410,2	-467,2	-468,7	-468,7	-468,7	-1134	-4	-956,8	336,4	-1231,3	-5937,9
23	-419,8	-259,1	-418,1	-477,3	-601,9	-601,9	-601,9	-1171,8	-4	-975,5	336,4	-1262,5	-6103,2
TOTAL DIARIO	-10059	-5803,3	-10097	-11701	-6739,4	-6762	-10871,3	13361,2	-96,5	-24496	5198,7	-30014,2	-102261,3 kcal/día



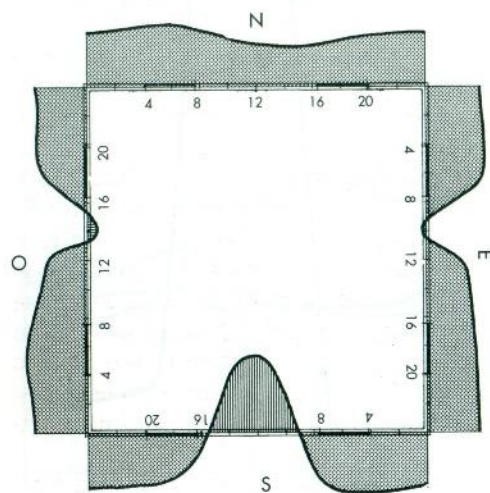
HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO			DOBLE VIDRIO	PUERTA	CUBIERTA	CALOR PRODUCIDO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	O	N						
	234	146	234	266	30	30	30	150		1225			
0	-13,1	-8,5	-13,3	-15,8	-52,9	-45,3	-53	-113,4	-0,25	44,3	147,4	-133,3	-257,3
1	-25,9	-16,8	-26,4	-31,5	-68	-60,5	-68	-151,2	-0,25	23,9	147,4	-177,9	-455,3
2	-38,8	-25,2	-39,8	-47,1	-83,2	-75,6	-83,1	-226,8	-0,5	3,5	147,4	-222,2	-691,5
3	-51,4	-33,7	-52,9	-63	-95,7	-75,6	-83,1	-226,8	-0,5	18,4	147,4	-231,3	-785,2
4	-63,5	-42,1	-65,7	-78,6	-90,7	-83,1	-90,7	-226,8	-0,5	-38,8	147,4	-235,6	-868,9
5	-66,5	-43,8	-70	-81,6	-68	-68	-68	-189	-0,5	-59,2	147,4	-231,3	-798,8
6	-67,7	-44,8	-70	-83,1	-15,1	-45,3	-37,8	-37,8	-0,5	-63	336,4	-213,4	-342,2
7	-64,2	-42,8	-68	-79,4	30,2	-15,1	-7,5	113,4	-0,5	-64,7	336,4	-177,9	-40,3
8	-54,6	-37,8	-60,7	-69,8	60,4	15,1	22,7	189	-0,5	-48,1	399,4	-111,1	303,9
9	-41,3	-29,9	-48,3	-54,9	90,7	45,3	60,5	340,2	-0,25	31,5	200,3	-40	553,6
10	-21,4	-16,1	-26,9	-30,5	105,8	83,1	90,7	453,6	0	151,7	49,1	22,1	861,3
11	-1	-2,2	-4,5	-4,7	128,5	113,4	120,9	529,2	0,25	292,6	49,1	88,9	1310,4
12	16,4	10,3	14,3	17,9	143,6	136,1	136,1	567	0,25	425,9	49,1	142,4	1659,1
13	34,5	23,4	35	41,3	151,2	151,2	151,2	604,8	0,5	531,4	49,1	177,9	1951,7
14	49,1	33,5	51,4	60,2	151,2	166,3	158,7	604,8	0,5	603,8	49,1	200	2128,9
15	71,1	38	62,5	72,8	143,6	173,9	151,2	567	0,5	646,4	49,1	200	2163,9
16	64,5	43,8	69,8	80,6	136	173,9	143,6	491,4	0,5	644,6	49,1	191,2	2089,3
17	63,7	43,1	70,5	79,8	105,8	143,6	120,9	415,8	0,5	614,9	364,1	168	2191,1
18	59,9	40,8	67,7	75,8	83,1	105,8	98,3	302,4	0,5	537	651,4	124,5	2147,5
19	48,6	33	56,4	62,5	45,3	52,9	52,9	113,4	0,25	433,4	336,4	88,9	1316,7
20	37,8	26	44,1	47,1	15,1	15,1	15,1	37,8	0,25	307,4	336,4	44,3	926,6
21	25,7	17,3	29	33,7	0	0	0	0	0	190,7	336,4	0	633
22	12,3	8,3	13,1	15,6	-15,1	-15,1	-15,1	-37,8	0	100	336,4	-44,3	358,3
23	-0,5	-1,5	-1,2	-0,25	-756	-30,2	-37,8	-756	-0,25	64,7	336,4	-88,9	91,5
TOTAL DIARIO	-39	-26,4	-33,2	-5	826,5	854,3	776,7	4044,6	-0,5	5355,7	5198,7	-458,9	16447,9 kcal/día



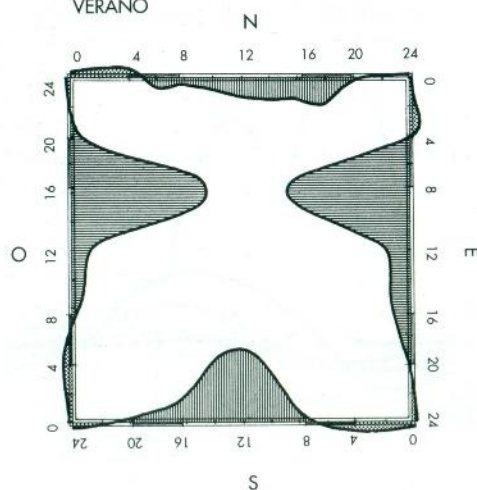
MINNEÁPOLIS

CASA ORTODOXA

INVIERNO

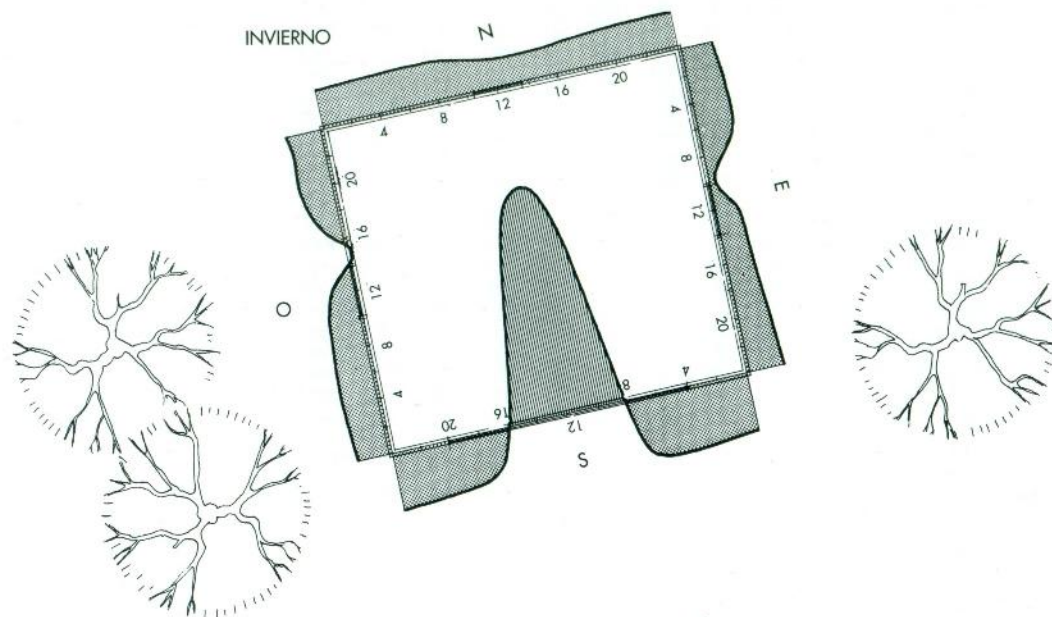


VERANO

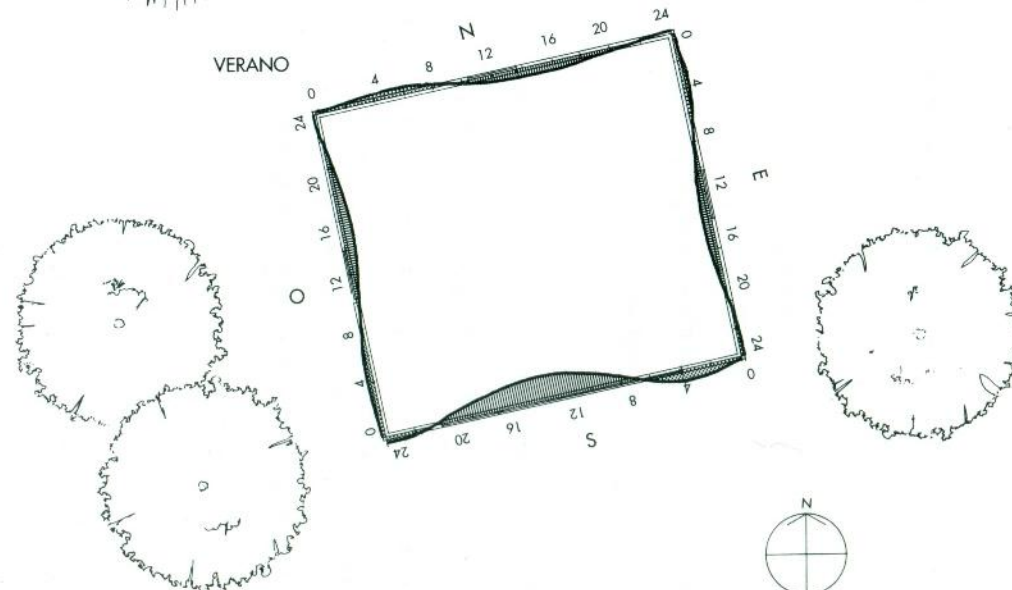


CASA EQUILIBRADA

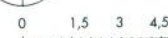
INVIERNO



VERANO

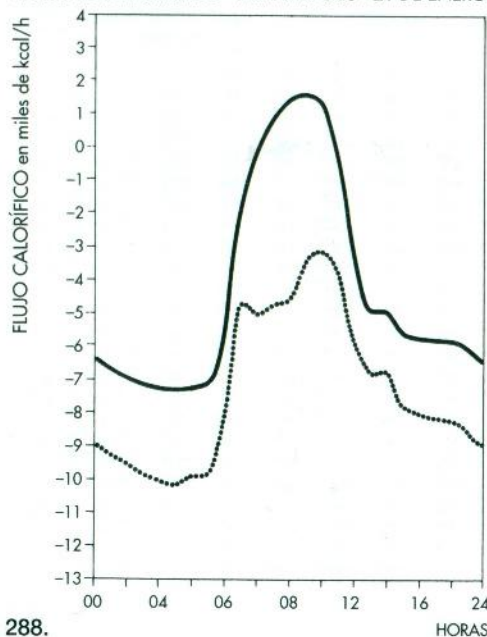


ESCALA EN m



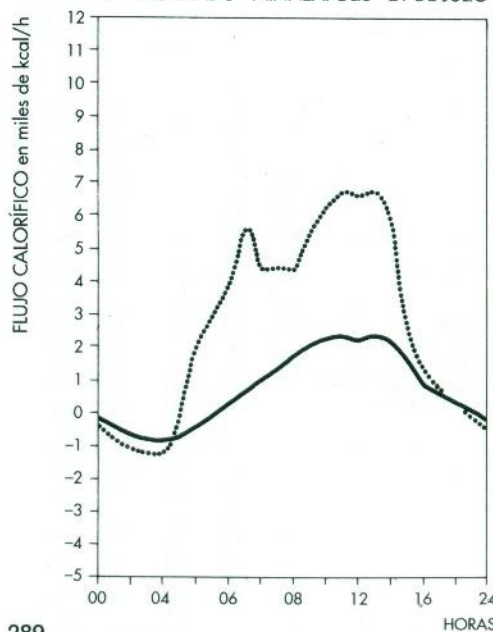
ESCALA DE IMPACTOS
CALORÍFICOS EN miles de kcal

CALOR TOTAL ESTIMADO MINNEÁPOLIS 21 DE ENERO



288.

CALOR TOTAL ESTIMADO MINNEÁPOLIS 21 DE JULIO



289.

ANÁLISIS CALORÍFICO DE LAS EDIFICACIONES EN ZONAS FRÍAS.

La previsión calorífica de una casa ortodoxa situada en Minneapolis durante el invierno, indica que las pérdidas de calor proceden de las siguientes fuentes: por construcción en madera, 5 % por el este, 5 % por el sur, 5 % por el oeste y 5 % por el norte; a través de las ventanas, 10 % por el este, 2 % por el sur, 10 % por el oeste y 12 % por el norte. La pérdida de calor a través de la cubierta es del 13 %, y por filtraciones un 33 %. Se produce una ganancia por el calor generado interiormente. En verano, la ganancia calorífica de la casa ortodoxa, obtenida en porcentajes a través de las siguientes fuentes: muros contruidos en madera, por el este un 1 %, por el sur un 1 %, y por el oeste un 1 %; superficie de ventanas, 25 % por el este, 15 % por el sur, 25 % por el oeste y 7 % por el norte. La cubierta contribuye con un 14 % con la ganancia calorífica y, por último, el calor generado en el interior añade un 12 % al total. Existe una pequeña pérdida del 1 % debido a las filtraciones.

En la casa equilibrada se han introducido algunas variaciones en la orientación, colocando voladizos para proporcionar sombra, doble acristalamiento en las ventanas, ventilación de la cubierta y de los aparatos electrodomésticos. Las pérdidas de calor invernales alcanzan los siguientes porcentajes: muros contruidos en madera, por el este un 8 %, por el sur un 5 %, por el oeste un 8 % y por el norte un 10 %; superficie de ventanas, 7 % por el este, 7 % por el oeste y 9 % por el norte. La pérdida calorífica a través de la cubierta alcanza un 21 %, y a través de las filtraciones un 25 %. A través de los 13,9 m² de doble cristal de la ventana situada en la fachada sur, se produce una ganancia calorífica de un 11 %, y el calor generado en el interior alcanza el 4 %. En verano el comportamiento calorífico de la superficie de los muros es despreciable. La superficie de ventanas proporciona el 5 % al este, el 24 % al sur, el 5 % al oeste y el 5 % al norte de la ganancia calorífica total. La cubierta contribuye con un 31 % y el calor generado en el interior con un 30 %. Las pérdidas totales por infiltración alcanzan el 3 %.

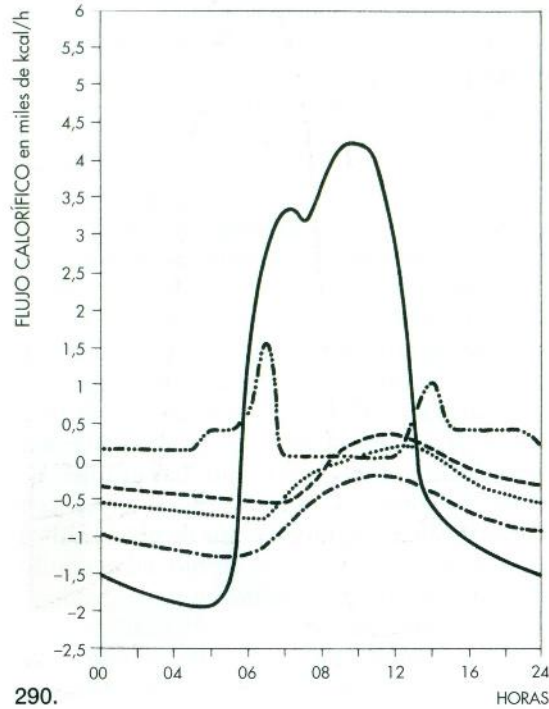
Las gráficas ilustran una comparación del comportamiento calorífico diario entre una vivienda ortodoxa y una equilibrada, situadas en Minneapolis, tanto en invierno como en verano. Las indicaciones son las mismas que las descritas para el ejemplo de Nueva York. Nótese el efecto del impacto solar durante el invierno en la fachada sur de la casa equilibrada, y también la evidente reducción de carga calorífica en la casa equilibrada en comparación con la ortodoxa.

Analizando las curvas del flujo calorífico diario de invierno correspondientes a ambas casas, puede observarse que en la casa equilibrada se produce una pérdida calorífica inferior durante el día, y que, debido a la utilización de la energía solar, se origina, en algunas horas del día, un flujo positivo. Las gráficas de comportamiento de ambas casas en verano muestran unas puntas de calor de 6658 kcal en la vivienda ortodoxa y, en cambio, en la equilibrada, debido a las modificaciones introducidas, esta punta se reduce a 2191 kcal.

Las mejoras, desde un punto de vista estacional, son producto de las siguientes medidas. En invierno: reorientación y redistribución de aberturas (ganancia de +20.823 kcal) un 12 %; reducción de las filtraciones (+30.186 kcal) 17 %; interrupción de la convección que penetra a través de las ventanas utilizando doble vidrio (+25.439 kcal) 15 %. La ventilación de los electrodomésticos aporta un 2 % negativo. Sumándolo todo, se obtiene que la reducción total de pérdida de calor en una casa equilibrada es del 42 %.

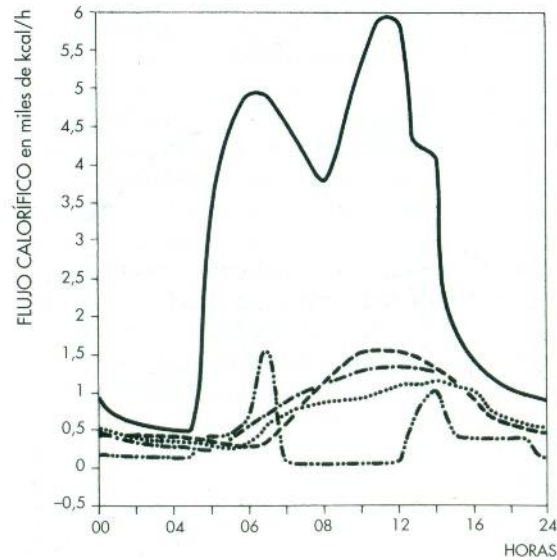
En verano las medidas aplicadas mejoran las condiciones de la casa ortodoxa de la siguiente manera: reorientación, modificación de la forma y redistribución de aberturas proporcionan (-4.952 kcal) un 8 %; sombra en superficies acristaladas (-35.615 kcal) 54 %; modificación de la cubierta, aplicándole pintura de color claro y proporcionándole ventilación (-3571 kcal) un 5 %; sombra en superficies de muros (-2412 kcal) un 3 %; ventilación de aparatos electrodomésticos (-2747 kcal) un 4 %. La colocación de un doble vidrio en la ventana de la fachada sur y la reducción de filtraciones

PHOENIX CASA ORTODOXIA 21 DE ENERO



290.

PHOENIX CASA ORTODOXIA 21 DE JULIO

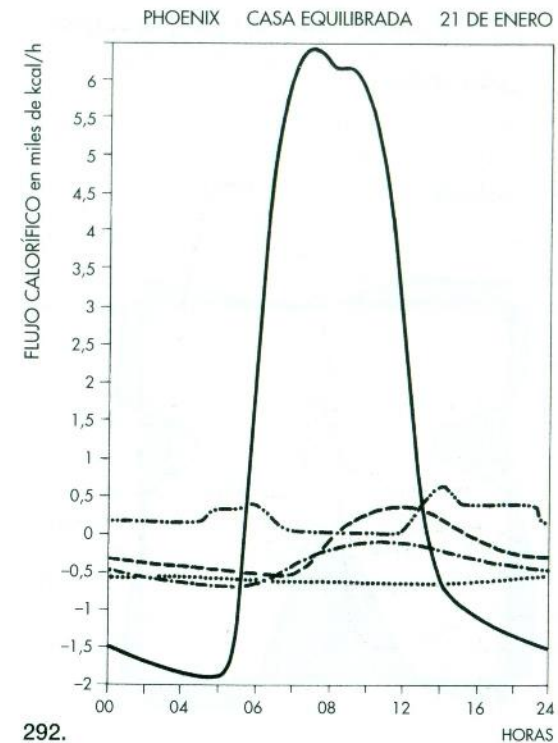


142 291.

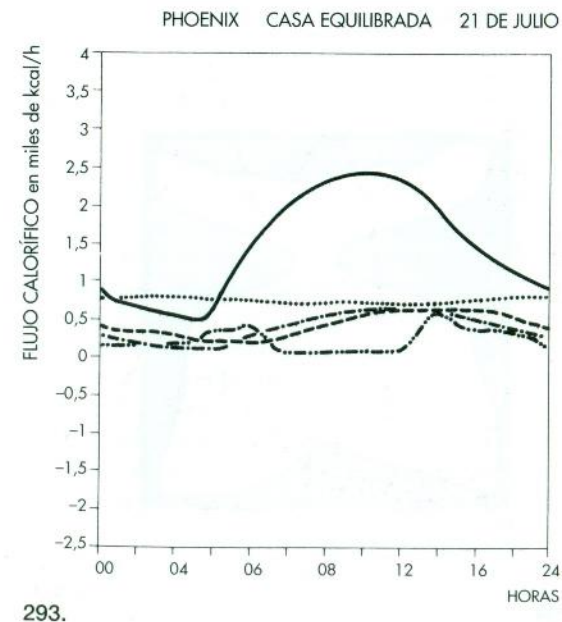
HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO				CUBIERTA	CALOR PRODUCIDO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	S	O	N				
0	220	220	220	220	60	60	60	60	1225			
1	-133	-127,5	-133	-138,6	-0,4	-0,38	-0,38	-0,38	-0,37	147,4	-1	-3,3
2	-144,1	-138,6	-144,1	-149,7	-0,41	-0,41	-0,41	-0,41	-0,37	147,4	-1	-3,5
3	-149,7	-149,7	-149,7	-160,8	-0,42	-0,42	-0,42	-0,42	-0,4	147,4	-1,1	-3,7
4	-160,8	-155,2	-160,8	-166,3	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,43	147,4	-1,2	-3,8
5	-166,3	-166,3	-166,3	-172	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,46	147,4	-1,2	-4
6	-172	-172	-177,4	-183	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48	-0,46	147,4	-1,2	-4,2
7	-177,4	-177,4	-183	-186,5	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48	-0,49	0,4	-1,3	-4
8	-183	-183	-188,5	-194	-196,6	-0,36	-0,48	-0,47	-0,52	0,4	-1,3	-3,7
9	-188,5	-188,5	-188,5	-194	1,33	0,64	-0,39	-0,36	-0,52	0,65	-1,3	-0,7
10	-172	-172	-194	-199,6	1,63	1,62	-242	-242	-0,52	1,6	-1,1	2
11	-55,4	83,2	-177,4	-183	1,29	2,3	-105,8	-151,2	-0,52	49,1	-0,9	1,5
12	5,5	11,1	-149,7	-155,2	0,54	2,9	0	-45,4	-0,4	49,1	-0,65	2
13	5,5	88,7	-116,4	-122	90,7	2,9	90,7	45,4	-185,2	49,1	-0,5	2,4
14	-11,1	155,2	-83,2	-88,7	105,8	2,9	60,5	61,7	49,1	49,1	-0,4	3,4
15	-55,4	183	-55,4	-66,5	90,7	2,5	1,5	75,6	247	49,1	-0,3	4,2
16	-44,4	194	27,7	-50	90,7	1,95	2	90,7	0,34	49,1	-240	4,4
17	-38,8	172	88,7	-39	15,1	1,01	1,7	15,1	0,34	49,1	-0,25	3
18	-33,3	133	127,5	-33,3	-105,8	1,12	161,4	-90,7	0,31	0,88	-0,3	2
19	-38,8	61	88,7	-39	-166,3	-166,3	-166,3	-166,3	123,5	1	-0,45	110,6
20	-55,4	-33,3	-33,3	-55,4	-242	-242	-242	-242	0	0,4	-0,6	-1,4
21	-77,6	-72	-77,6	-77,6	-0,27	-0,27	-0,27	-0,27	-154,5	0,4	-0,7	-1,9
22	-99,8	-94,3	-99,8	-100	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-216,2	0,4	-0,8	-2,2
23	-111	-105,3	-111	-116,4	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,3	0,4	-0,9	-2,6
24	-127,5	-122	-127,5	-133	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,31	0,4	-0,94	-2,8
TOTAL DIARIO	-2,38	-1,14	-2,38	-3	105,8	14,7	105,8	-5,9	-5,22	8	-19,6	-16,7 kcal/dia

HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO				CUBIERTA	CALOR PRODUCIDO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	S	O	N				
0	220	220	220	220	60	60	60	60	1225			
1	133	127,5	133	122	226,8	226,8	226,8	226,8	439,9	147,4	582,1	2646,2
2	122	111	116,4	111	181,4	181,4	181,4	181,4	462,9	147,4	504	2451,4
3	111	100	111	100	151,2	151,2	151,2	151,2	432,2	147,4	439,7	2045,5
4	100	88,7	99,8	88,7	136	136	136	136	401,2	147,4	391,1	1861
5	94,2	83,2	88,7	77,6	136	136	136	136	370,4	147,4	332,9	1738,8
6	88,7	72	83,2	72	121	121	121	121	339,4	147,4	288,5	1575,2
7	77,6	66,5	72	61	1950,5	211,7	196,5	589,7	308,7	399,4	253	4186,7
8	72	61	66,5	55,4	3054,2	362,9	317,5	589,7	277,7	399,4	386,8	5643,3
9	149,7	61	72	105,3	3402	499	453,6	544,3	277,7	651,4	586,4	6802,5
10	0,32	88,7	94,2	127,5	3129,8	650,2	559,4	604,6	339,4	1561,1	756	8227,3
11	0,35	127,5	127,5	133	2373,8	882,1	665,3	680,4	617,4	49,1	888,3	6909,3
12	0,36	172	155,2	149,7	1481,7	1164,2	771,1	771,1	926,1	49,1	1023,1	7023,7
13	0,33	221,8	177,4	172	816,5	1345,7	816,5	801,4	1173,1	49,1	1132,7	7033,1
14	0,28	0,26	200	194	831,6	1224,7	1542,2	831,6	1358,3	49,1	1217,2	7980,6
15	216,2	0,27	216,2	210,7	831,6	1058,4	2540,2	846,7	1512,5	49,1	1288,9	9042,3
16	227,3	0,28	0,3	221,8	801,4	892,1	3371,7	846,7	1574,2	49,1	1345,7	9917,7
17	232,8	0,28	0,39	232,8	740,8	786,2	3689,3	786,2	1574,2	49,1	1349,5	10106,5
18	238,4	0,26	0,45	238,4	665,3	710,6	3402	725,7	1512,5	679,1	1333,1	10209,3
19	238,4	238,4	0,47	249,5	574,5	589,7	2328,5	619,9	1389	1029,4	1270,1	8993,1
20	227,3	227,3	0,45	0,3	0,45	0,45	0,45	0,45	1203,8	399,4	1159,2	5752,1
21	210,7	205,1	0,35	0,26	0,38	0,38	0,38	0,38	987,8	399,4	987,3	4906,7
22	188,5	183	188,5	183	0,32	0,32	0,32	0,32	679,1	399,4	657,5	3949,1
23	166,3	160,8	166,3	155,2	0,29	0,29	0,29	0,29	617,4	399,4	760,5	3575,1
24	149,7	138,6	149,7	138,6	0,26	0,26	0,26	0,26	555,6	399,4	569,3	3129,1
TOTAL DIARIO	4,7	3,9	4,7	3,7	23,3	13033,4	23300	11684,3	19384,8	7945,5	19854,3	135957,8 kcal/dia

HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO				PUERTA	CUBIERTA	CALOR PRODUCIDO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	S	O	N					
	260	218,4	320	297,4	80	120	20	21	1225				
0	-137,6	-71,5	-185,2	-172,4	-504	-756	-126	-126	-33,3	-370,4	147,4	-500,5	-2835,5
1	-137,6	-71,5	-185,2	-164,6	-544,3	-816,5	-1361	-1361	-35,5	-370,4	147,4	-533,3	-2964,2
2	-137,6	-71,5	-185,2	-172,4	-564,5	-846,7	-141,1	-141,1	-37,5	-401,4	147,4	-55,6	-3107,4
3	-137,6	-76,8	-185,2	-172,4	-584,6	-876,9	-146,2	-146,2	-39	-432,2	147,4	-580,1	-3229,9
4	-137,6	-82,4	-185,2	-172,4	-624,9	-937,4	-156,2	-156,2	-40,8	-463,2	147,4	-600	-3409
5	-144,1	-87,9	-185,2	-179,9	-645,1	-967,7	-161,3	-161,3	-41,3	-463,2	147,4	-617,9	-3507,6
6	-144,1	-93,5	-193,5	-179,9	-645,1	-967,7	-161,3	-161,3	-43,3	-493,9	336,4	-631,3	-3376,5
7	-144,1	-93,5	-193,5	-187,5	-262,1	-725,7	-161,3	-156,2	-44,3	-524,9	336,4	-644,6	-2801,5
8	-144,1	-93,5	-193,5	-187,5	1774,1	-1272,3	-131	-120,9	-45,1	-524,9	399,4	-631,3	1373,9
9	-150,9	-93,5	-201,6	-187,5	2177,3	3233,2	-80,6	-80,6	-42,8	-524,9	200,3	-549,1	3699,3
10	-150,9	-99	-201,6	-194,8	1713,6	4611,6	-45,4	-50,4	-36,5	-524,9	49,1	-440	4631
11	-150,9	-99	-201,6	-194,8	725,7	5695,2	0	-15,1	-29,2	-401,4	49,1	-324,6	5053,6
12	-150,9	-99	-201,6	-194,8	120,9	5959,8	30,2	15,1	-20,6	-185,2	49,1	-248,9	5074,3
13	-150,9	-99	-201,6	-194,8	141,1	5755,7	216,7	20,2	-14,8	61,7	49,1	-193,3	5390,3
14	-150,9	-99	-201,6	-194,8	120,9	5047,5	504	25,2	-11,6	246,9	49,1	-148,9	5187,2
15	-150,9	-104,6	-209,6	-202,3	120,9	3903,5	656,2	30,2	-9,1	339,7	49,1	-119,9	4302,4
16	-150,9	-104,6	-209,6	-202,3	20,1	2041,2	569,5	5,04	-6,8	339,7	49,1	-126,7	2223,9
17	-150,9	-104,6	-209,6	-202,3	-141,1	514,1	60,5	-30,2	-8,5	308,7	364,1	-153,5	246,7
18	-150,9	-104,6	-209,6	-202,3	-221,7	-333,1	-55,4	-55,4	-11,6	236,9	651,4	-224,5	-799,3
19	-144,1	-93,5	-209,6	-194,8	-322,5	-483,8	-80,6	-80,6	-16,4	0	336,4	-322,5	-1593,9
20	-144,1	-87,9	-201,6	-187,5	-362,8	-544,3	-90,7	-90,7	-22,2	-144,5	336,4	-355,6	-1905,6
21	-137,6	-82,4	-193,5	-179,9	-403,2	-604,6	-100,8	-100,8	-25,4	-216,2	336,4	-404,4	-2112,7
22	-137,6	-76,8	-193,5	-172,4	-463,7	-695,5	-115,9	-115,9	-29,2	-277,9	336,4	-435,7	-2377,8
23	-144,1	-71,6	-185,2	-172,4	-483,8	-725,7	-120,9	-120,9	-31,2	-308,7	336,4	-468,9	-2497,3
TOTAL DIARIO	-3479	-2161,4	-4724	-4315,7	141,1	27752	25,2	-1950,5	-676,6	-5223,2	7718,7	-9793,5	642,1 kcal/día



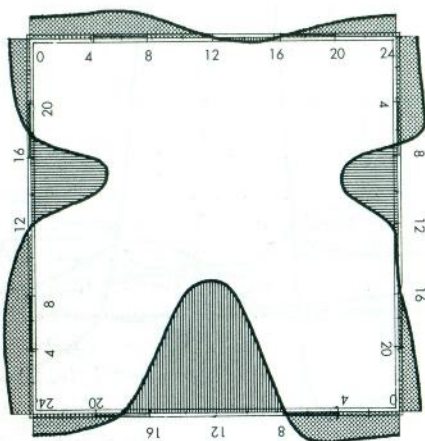
HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA			MURO DE PIEDRA EN JARDÍN			VIDRIO SENCILLO EN JARDÍN			VIDRIO SENCILLO		PUERTA	CUBIERTA	CALOR PRODUCIDO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	O	E	S	O	N	O	N					
	260	218,4	260	297,4	60	80	120	20	20	21	1225					
0	183,4	159,5	190	217,2	39,3	302,4	453,6	75,6	75,6	23,9	432,2	147,4	291,1			2591,3
1	183,4	159,5	190	217,2	39,3	241,9	362,8	60,5	60,5	21,2	370,4	147,4	252			2306,3
2	190	159,5	190	224,8	39,3	221,7	332,6	55,4	50,4	18,6	339,7	147,4	220			2189,6
3	190	159,5	190	224,8	39,3	201,6	302,4	50,4	45,3	16,4	308,7	147,4	195,5			2071,4
4	183,4	159,5	190	217,2	39,3	181,4	272,2	45,3	45,3	14,8	277,9	147,4	166,8			1940,9
5	183,4	159,5	190	217,2	39,3	181,3	241,9	40,3	40,3	12,6	246,9	147,4	144,4			1824,7
6	183,4	154,2	183,4	209,9	37,8	241,9	272,2	40,3	60,5	11,1	246,9	336,4	126,7			2104,9
7	183,4	154,2	183,4	209,9	37,8	423,3	483,8	75,6	90,7	11,1	241,4	336,4	193,3			2624,6
8	176,9	148,7	176,9	202,3	37,8	564,5	695,5	110,9	120,9	16,4	185,2	399,4	293,3			3128,8
9	176,9	148,7	176,9	202,3	37,8	624,9	846,7	131	151,2	23,9	246,9	200,3	378			3345,8
10	176,9	148,7	176,9	194,8	36,3	685,4	967,7	156,2	171,3	30,2	277,9	49,1	444,5			3516,1
11	176,9	143,1	176,9	194,8	36,3	725,7	1088,6	171,3	201,6	35	370,4	49,1	511,3			3881,3
12	176,9	143,1	176,9	194,8	36,3	766,1	1179,3	191,5	211,7	39	432,2	49,1	566,7			4163,8
13	176,9	143,1	170,3	194,8	36,3	766,1	1209,6	201,6	221,7	43,3	493,9	49,1	609,1			4316
14	176,9	143,1	170,3	187,5	36,3	786,2	1209,6	211,7	226,8	46,1	555,6	49,1	644,6			4444
15	170,3	143,1	170,3	187,5	36,3	766,1	1209,6	216,7	231,8	48,6	586,6	49,1	673,3			4489,6
16	170,3	137,6	170,3	187,5	36,3	745,9	1149,1	216,7	216,7	50,1	617,4	49,1	675,6			4423,3
17	170,3	137,6	170,3	187,5	34,7	705,6	1088,6	206,6	206,6	50,1	648,4	364,1	666,8			4637,5
18	176,9	143,1	170,3	194,8	36,3	645,1	997,9	181,4	186,5	48,6	648,4	651,4	635,8			4716,7
19	176,9	148,7	176,9	194,8	36,3	544,3	816,5	136,1	151,2	46,1	679,1	336,4	580,1			4023,4
20	176,9	148,7	176,9	202,3	37,8	483,8	725,7	120,9	126	40,8	648,4	336,4	493,4			3718,2
21	183,4	154,2	183,4	209,9	37,8	423,3	635	105,8	105,8	35	617,4	336,4	428,9			3319,1
22	183,4	154,2	183,4	209,9	37,8	383	574,5	95,7	95,7	30,7	524,9	336,4	380			3190,1
23	183,4	154,2	183,4	217,2	39,3	342,7	514,1	85,7	85,7	27,5	463,2	336,4	284,5			2917,4
TOTAL DIARIO	4311,2	3605,6	4317,7	4901,1	901,1	11934,7	17629,9	2983,7	3180,2	741,6	10460,5	5199,2	9855,9			80022,8 kcal/día



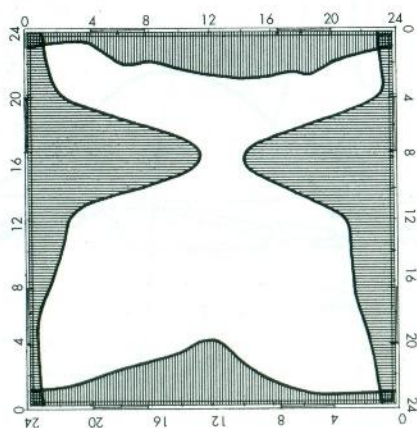
PHOENIX

CASA ORTODOXA

INVIERNO

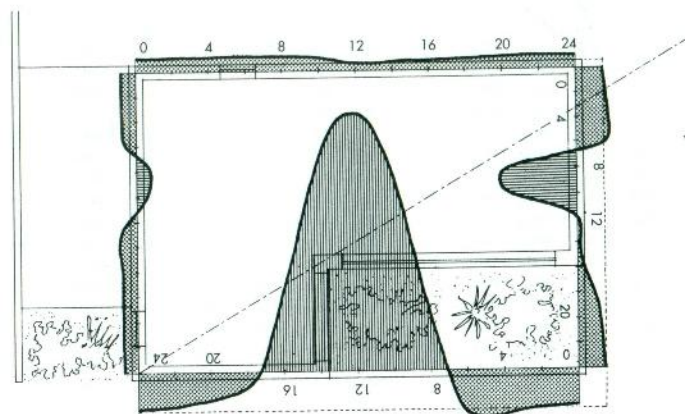


VERANO

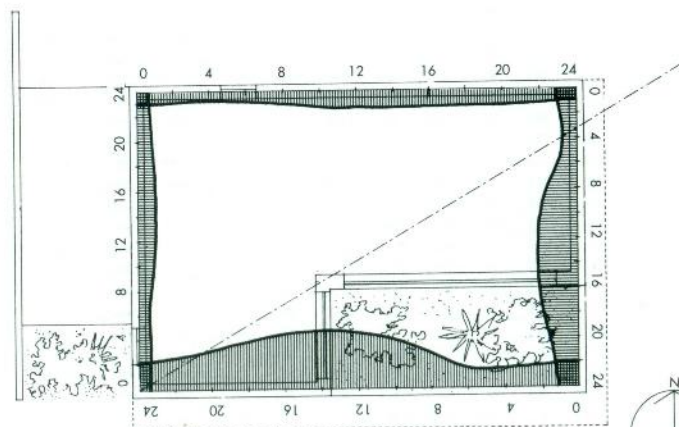


CASA EQUILIBRADA

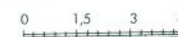
INVIERNO



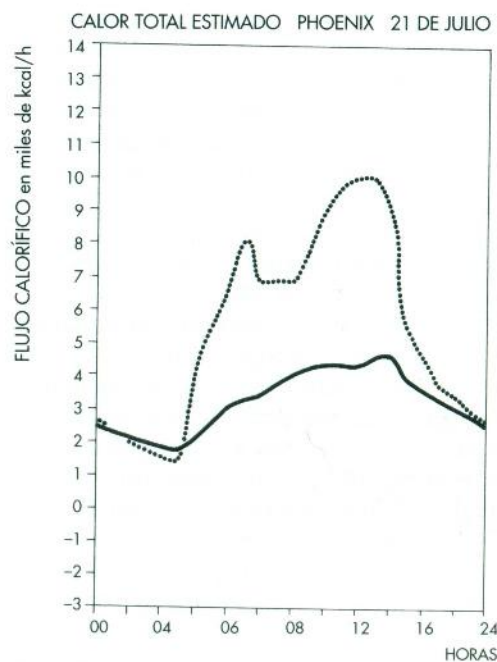
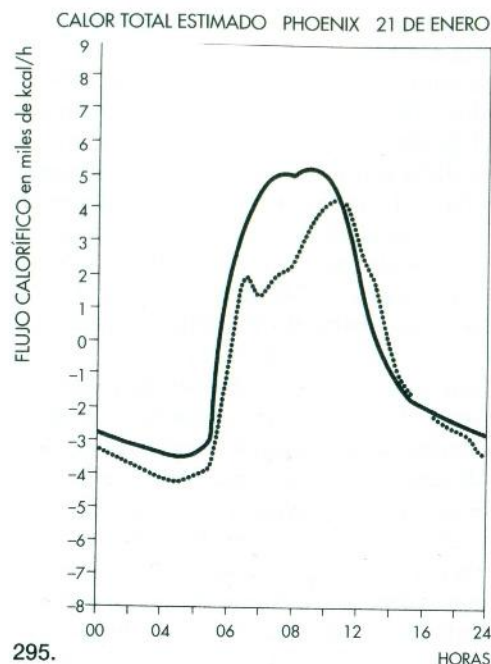
VERANO



ESCALA EN m



ESCALA DE IMPACTOS
CALORÍFICOS EN miles de kcal



no produce una gran diferencia de los efectos caloríficos. La reducción total de la ganancia calorífica en la casa equilibrada, en comparación con la ortodoxa, es del 75 %.

Basándose en los datos estacionales, el índice anual se evalúa de acuerdo con el resultado de las sumas de los flujos caloríficos, la duración de la estación (en este caso, los períodos fríos representan el 75 %, y los cálidos el 25 % del año), y el coeficiente de tensiones. De acuerdo a su importancia, las medidas aplicadas muestran el siguiente orden: (1) reducción de las filtraciones, 28 %; (2) intercepción de la pérdida calorífica a través de las ventanas, 24 %, aplicado en este caso a la doble ventana (nótese que los dos primeros factores tienen relación con temperaturas frías adversas; los aspectos solares cuentan en segundo lugar); (3) orientación 22 %; (4) sombra en las superficies acristaladas 22 %; (5) las modificaciones de la cubierta sólo cuentan con un pequeño porcentaje del 2 %; (6) al igual que la sombra en los muros con un 2 %; (7) la ventilación de los electrodomésticos muestra un valor negativo total anual del 1 %.

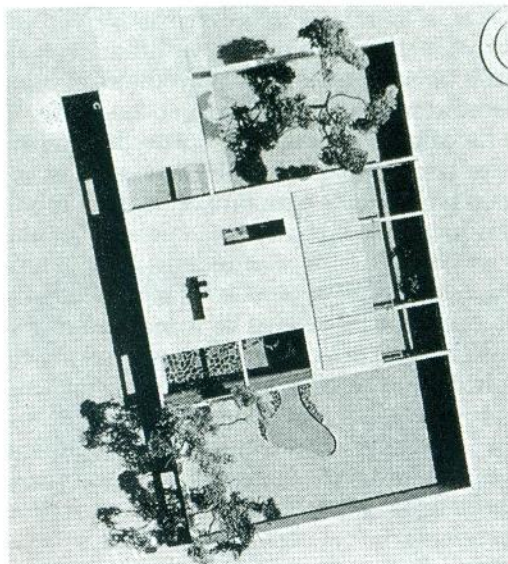
ANÁLISIS CALORÍFICO DE LA EDIFICACIÓN EN ZONAS CÁLIDAS Y ÁRIDAS.

En Phoenix, Arizona, las pérdidas caloríficas para la vivienda ortodoxa se producen en invierno a partir de las siguientes fuentes y en los porcentajes indicados: muros de madera, 6 % al este, 3 % al sur, 6 % al oeste y 8 % al norte. Las áreas de ventana situadas en las fachadas este y oeste presentan unas ganancias caloríficas despreciables, la fachada sur contrarresta la pérdida total con una ganancia positiva del 37 %; la fachada norte pierde un 15 %. La pérdida total a través de la cubierta es del 13 %, y a través de las filtraciones el 49 %. La cantidad de calor generado en el interior alcanza el 20 %. En verano, la ganancia calorífica de la casa ortodoxa, en porcentajes, se obtiene a través de las siguientes fuentes: construcción en madera, por el este un 3 %, por el sur un 3 %, por el oeste un 4 % y por el norte un 3 %; superficie de ventanas, 17 % por el este, 10 % por el sur, 17 % por el oeste y

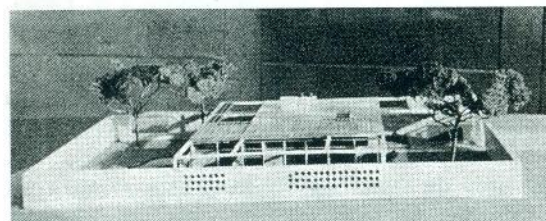
9 % por el norte. El techo contribuye con un 14 % a la ganancia calorífica, las filtraciones alcanzan también un 14 % y por último, el calor generado en el interior añade un 6 % al total.

La casa equilibrada fue objeto de diversos ajustes, por ejemplo en su orientación, en los voladizos o elementos para proporcionar sombra, en los muros de fábrica, en la cubierta ventilada, en los aparatos electrodomésticos ventilados, asimismo se procedió a plantar alrededor de la casa gran diversidad de vegetación refrescante. Las pérdidas caloríficas durante el invierno quedaron como siguen: muros de madera, por el este un 11 %, por el sur un 7 %, por el oeste un 14 % y por el norte un 14 %; la superficie de ventanas situadas en las fachadas este y oeste aportan una ganancia tan pequeña que puede despreciarse, por el norte se pierde un 6 %. La pérdida calorífica a través de la cubierta alcanza el 16 % y a través de las filtraciones un 30 %, y por último, a través de la puerta un 2 %. La ganancia del 86 % de la pérdida total la suple la puerta de la fachada sur y el calor generado en el interior añade un 16 %. En verano, el muro este proporciona un 5 %, el sur un 5 %, el oeste un 6 % y el norte un 6 % de ganancia calorífica. El área de ventanas del lado este alcanza un 15 %, las del lado sur un 22 %, las del oeste un 4 % y las del norte otro 4 %. La ganancia calorífica a través de la cubierta es de un 13 %, a través de las filtraciones el 12 %, a través de la puerta un 1 %, y el generado en el interior un 7 %.

La comparación entre los comportamientos diarios caloríficos de las casas ortodoxa y equilibrada emplazadas en Phoenix, se ilustra en dos gráficas, una para el invierno y la otra para el verano. Nótese que en el plano de la casa equilibrada la disposición de las aberturas (7,4 m² al este, 11 m² al sur, 1,85 m² al oeste y 1,85 m² al norte) ha tenido en cuenta la orientación sol-aire. Los jardines, indicados de forma esquemática, contribuyen a bajar la temperatura (aquí hemos tomado, de forma conservadora, el valor -2,75 °C en las puntas de temperatura). Un tejadillo proporciona sombra al muro oeste. Nótese como en la casa equili-



Planta



Vista este



Vista sur

297. Adaptación de los principios en el área de Phoenix.

brada aumenta la ganancia de calor en invierno y disminuye la carga calorífica en verano.

Si se comparan las curvas de flujo calorífico total diario de las viviendas equilibrada y ortodoxa, durante el invierno, podremos apreciar que la casa equilibrada tiene una menor pérdida calorífica a lo largo del día y que la ganancia solar se encuentra equilibrada alrededor del eje del mediodía. La punta de ganancia calorífica es de 5187 kcal en la casa equilibrada, y en la ortodoxa es de 4374 kcal. El comportamiento de las mismas viviendas, durante el verano, arroja una punta de calor de 4484 kcal, producida principalmente por las modificaciones introducidas en la estructura equilibrada.

Basándonos en los datos estacionales, las mejoras producidas durante el invierno se producen como consecuencia de adoptar las siguientes medidas: una orientación apropiada, una forma física correcta, y una redistribución de aberturas (+14.855 kcal). Todo esto proporciona una ganancia del 89 % respecto a la pérdida total. Los muros de fábrica, que tienen una gran superficie y un índice de aislamiento relativamente bajo, producen una pérdida (-3857 kcal) del 23 %. Sin embargo, el método de cálculo no registra su ventajosa cualidad de absorción calorífica interna. La intercepción de las filtraciones conserva (+9794 kcal) el 58 %. La ventilación de los aparatos electrodomésticos origina una pérdida (-2742 kcal) del 16 %. Algunos de los porcentajes aquí descritos pueden parecer un poco altos, teniendo en cuenta que la provisión invernal en esta zona es bastante baja y que en las condiciones existentes las pérdidas caloríficas pueden equilibrarse por completo.

En verano las medidas aplicadas en la vivienda equilibrada mejoran las condiciones de la casa ortodoxa en los siguientes parámetros: la orientación es casi despreciable, ya que tan sólo aporta -2475 kcal, es decir, un 2 %—no obstante, esta figura es a veces desorientadora ya que con otra disposición su efecto puede alcanzar hasta -21.420 kcal, el 16 %—la sombra en las superficies acristaladas (-29.850 kcal) intercepta la carga en un 22 %. A medida que la superficie de los

muros aumenta, la transmisión calorífica se incrementa también (+3215 kcal) en un 2 %, este valor se contrarresta con el material de fábrica utilizado (-1051 kcal) y los efectos microclimáticos del jardín al proporcionar sombra en los muros (-3858 kcal) ocasionando una reducción total del 4 %. La reducción de las filtraciones alcanza (-9927 kcal) el 7 %, la modificación del techo (-8949 kcal) un 6 %, y la ventilación de los electrodomésticos (-2742 kcal) un 2 %. La reducción de la ganancia calorífica comparada con la casa ortodoxa es del 42 %.

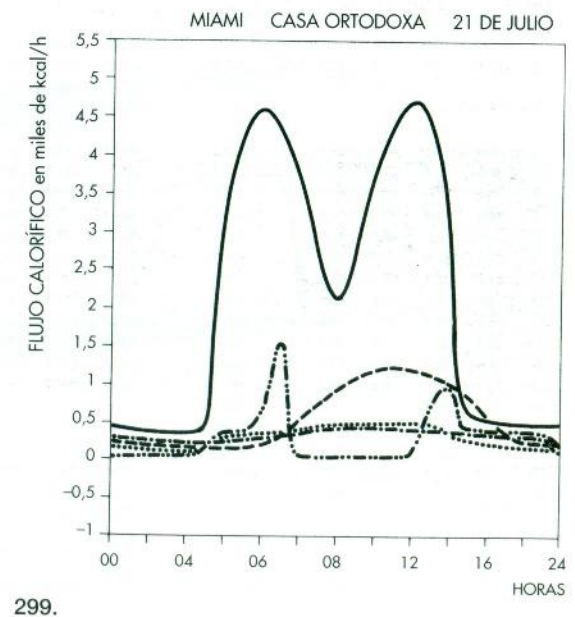
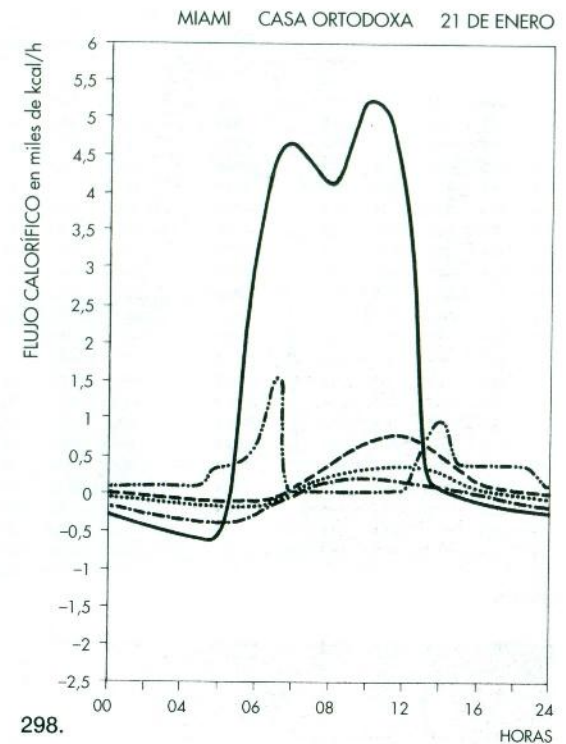
Basándose en los datos estacionales, el índice de importancia anual puede evaluarse de acuerdo con el sumatorio de los flujos caloríficos, el coeficiente de tensiones y la duración de las estaciones (en este caso se ha tomado el 37 % para el período frío y el 63 % para el cálido). Partiendo del análisis anterior, las medidas aplicadas siguen el siguiente orden: (1) sombra de las superficies acristaladas 46 %; (2) reducción de las filtraciones 19 %; (3) modificación del sistema constructivo de la cubierta, aportando también ventilación 14 %; (4) orientación 11 % (este efecto, no obstante, podría alcanzar el 14 %, con un descuento compensado por sombra del 43 %); (5) efecto del jardín y sombra en los muros 7 %; (6) ventilación de electrodomésticos 6 %; (7) muros de fábrica -6 % (esta suma, sin embargo, no muestra las ventajas adquiridas en el equilibrio diario).

ANÁLISIS CALORÍFICO DE LA EDIFICACIÓN EN ZONAS CÁLIDAS Y HÚMEDAS.

En Miami, Florida, los porcentajes de ganancia calorífica de la casa ortodoxa, durante el período estival, se originan a partir de las siguientes fuentes: muros de madera, 3 % por el este, 2 % por el sur, 3 % por el oeste y 2 % por el norte; a través de la superficie de ventanas, un 20 % por el este, un 8 % por el sur, un 20 % por el oeste y un 9 % por el norte. La ganancia calorífica a través de la cubierta alcanza el 15 %, a través de filtraciones un 9 %, y por el calor generado en el interior un 9 %. En invierno, y bajo las mismas condiciones, la pérdida de calor se produce solamente por filtraciones.

HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO				CUBIERTA	CALOR PRODUCIDO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	S	O	N				
0	220	220	220	220	60	60	60	60	1225			
1	-13,3	-11,6	-14,3	-17,1	-75,6	-75,6	-75,6	-75,6	12,3	147,4	-177,9	-377,0
2	-17,6	-16,1	-18,4	-21,6	-90,7	-90,7	-90,7	-90,7	-6	147,4	-222,3	-517,6
3	-22,2	-21,2	-23,2	-26,7	-105,8	-105,8	-105,8	-105,8	-18,6	147,4	-266,6	-654,4
4	-28,2	-27,2	-29,7	-33,2	-120,9	-120,9	-120,9	-120,9	-30,7	147,4	-311,0	-796,6
5	-34,3	-33,7	-36	-40,3	-136,1	-136,1	-136,1	-136,1	-49,4	147,4	-333,6	-924,3
6	-40,6	-39,8	-42,1	-46,6	-136,1	-136,1	-136,1	-136,1	-64,7	147,4	-364,4	-995,1
7	-43,3	-37	-44,8	-49,4	-151,2	-151,2	-151,2	-151,2	-83,4	399,4	-378,0	-841,4
8	-47,6	-47,6	-49,1	-54,4	619,9	619,9	211,6	-90,7	-92,5	399,4	-355,8	402,4
9	-49,4	-49,4	-51,6	-55,9	2086,5	2086,5	1194,5	-45,3	-104,8	651,4	-288,8	3226,6
10	-16,1	-30,5	-46,6	-51,6	2268	2268	1995,8	151,2	-108,1	1561,1	-168,8	5705,5
11	55,4	29,7	-31,5	-36	1784,1	1784,1	2419,2	241,9	-68	49,1	-44,4	4641,6
12	86,4	81,4	-11,6	-14,8	922,3	922,3	2887,9	317,5	138,8	49,1	62,0	4806,4
13	85,2	121,4	8,3	4,5	393,1	393,1	3024	393,1	367,4	49,1	177,9	4972,0
14	69,3	150,2	24,4	21,2	378	378	2948,4	982,8	571	49,1	235,4	5777,6
15	40,3	169,1	41,6	38,3	347,7	347,7	2676,2	1890	725,2	49,1	235,4	6560,8
16	47,1	173,8	93,2	46,1	287,3	287,3	2131,9	2404,1	793,3	49,1	213,2	6526,5
17	45,8	161,8	126	44,8	226,8	226,8	1375,9	2268	790,2	49,1	177,9	5508,5
18	40,3	136,3	142,4	40,3	90,7	90,7	393,1	801,3	682,1	679,1	133,6	3230,1
19	32,5	96,2	125,2	32	30,2	30,2	30,2	30,2	515,3	1029,4	80,1	2031,9
20	21,4	39,3	50,9	19,9	15,1	15,1	15,1	15,1	321	399,4	22,2	934,7
21	12,1	15,6	12,8	10,3	-15,1	-15,1	-15,1	-15,1	120,4	399,4	-22,2	488,1
22	4,5	7,8	4,3	2,01	-30,2	-30,2	-30,2	-30,2	68	399,4	-66,5	298,6
23	-1	1	-1,7	-3,8	-45,3	-45,3	-45,3	-45,3	46,3	399,4	-111,4	147,4
TOTAL DIARIO	219,5	864,6	220,5	-202,6	8482,3	20336,4	8391,6	1270,1	4556,4	7945,5	-1916,2	50168,2 kcal/dia

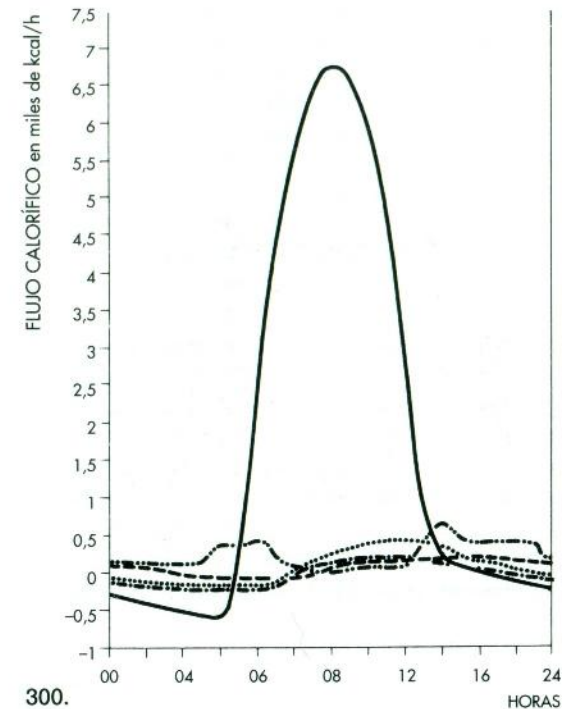
HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO				CUBIERTA	CALOR PRODUCIDO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	S	O	N				
0	220	220	220	220	60	60	60	60	1225			
1	54,4	49,4	53,1	49,8	120,9	120,9	120,9	120,9	256,3	147,4	288,8	1383,2
2	52,6	47,6	51,6	47,6	105,8	105,8	105,8	105,8	243,9	147,4	275,7	1289,9
3	51,6	46,6	49,9	46,6	105,8	105,8	105,8	105,8	237,6	147,4	266,6	1269,8
4	50,4	44,8	48,8	45,3	105,8	105,8	105,8	105,8	228,5	147,4	231,3	1220,2
5	50,4	44,8	48,8	45,3	105,8	105,8	105,8	105,8	225,3	147,4	231,3	1216,9
6	51,6	46,6	49,9	46,6	105,8	105,8	105,8	105,8	222,2	147,4	266,6	1254,4
7	130,3	52,2	55,4	70,3	1829,5	181,4	166,3	529,2	216,2	336,4	275,7	3906
8	181,9	61,5	63,7	108,1	2948,4	317,5	287,3	695,5	216,2	336,4	302,4	5582
9	197,8	69,3	70,3	108,1	3281	408,2	362,9	589,7	222,2	399,4	333,1	6294,2
10	193,5	75,8	77,1	82,1	2978,6	453,6	393,2	514,1	290	200,3	364,4	6983,7
11	168,1	84,2	84,2	84,9	2147	483,8	468,7	483,8	521,6	49,1	400,2	4975,7
12	133	99,8	89,2	88,2	1194,5	544,3	498,9	498,9	762,3	49,1	426,9	4385,3
13	93,7	103,1	93,7	90,9	514,1	559,4	514,1	514,1	975,5	49,1	444,5	3952,4
14	92,5	103,1	138,1	92	498,9	544,3	1194,5	498,9	1145,1	49,1	453,1	4809,7
15	92,5	93,2	179,7	93,7	483,8	498,9	2162,1	498,9	1247,1	49,1	462,2	5861,5
16	90,9	88,7	209,6	95,2	423,3	483,8	3008,9	498,9	1290,2	49,1	453,1	6692,1
17	86,4	84,9	217,2	124,2	393,1	438,5	3311,3	619,9	1256,5	49,1	444,5	7025,7
18	82,6	80,4	204,1	127,5	332,6	362,8	2993,7	740,9	1166,7	364,1	437,9	7208,7
19	74,8	71	150,7	89,7	211,7	226,8	1874,9	544,3	1009,5	651,4	408,7	5691,6
20	68,3	64,3	67,5	64,7	151,2	151,2	166,3	151,2	805,6	336,4	391,1	2465,8
21	66	61,5	64,7	62	136,1	136,1	136,1	136,1	574,1	336,4	373,5	2145,5
22	63,7	58,7	62,7	59,2	136,1	136,1	136,1	136,1	342,7	336,4	355,8	1886,7
23	59,9	54,9	58,7	55,4	120,9	120,9	120,9	120,9	268,6	336,4	329,1	1710,1
TOTAL DIARIO	2245,3	1639,2	2245,8	1831,3	18552,2	6819,1	18552,2	8542,8	13986,7	7718,7	8527,7	90888,1 kcal/dia



HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO				CUBIERTA EN EL INTERIOR	CALOR PRODUCIDO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	S	O	N				
	208	257	208	257	0	120	0	120	1225			
0	-12,6	-13,6	-13,6	-19,9	-151,2	-151,2	46,3	147,4	-88,9	-257,3		
1	-16,9	-18,6	-17,4	-25,2	-181,4	-181,4	27,7	147,4	-11,1	-376,9		
2	-20,9	-24,7	-21,9	-31	-211,6	-211,6	15,4	147,4	-133,3	-492,4		
3	-26,7	-31,7	-28,2	-38,8	-241,9	-241,9	3	147,4	-155,5	-614,4		
4	-32,5	-39,5	-34	-47,4	-272,2	-272,2	-15,4	147,4	-166,8	-732,5		
5	-38,3	-46,6	-39,8	-54,4	-272,2	-272,2	-31	147,4	-182,2	-729,2		
6	-40,8	-43,3	-42,3	-57,7	-302,4	-302,4	-49,4	336,4	-189	-690,9		
7	-44,8	-55,7	-46,6	-63,5	423,3	-181,4	-108,1	336,4	-177,9	131		
8	-46,6	-57,7	-48,6	-65,3	2388,2	-120,9	-179,2	399,4	-144,4	2233,7		
9	-15,1	-35,5	-44,1	-60,2	3991,7	302,4	-77,1	200,3	-84,4	4177,9		
10	52,4	35	-29,7	-42,1	4838,4	483,8	-68	49,1	-22,2	5296,8		
11	81,6	95,2	-11,1	-17,4	5775,8	574,5	-40,1	49,1	33,2	6541,1		
12	80,6	141,9	7,8	5	6048	695,5	6,3	49,1	88,9	7123,3		
13	65,2	175,4	23,2	24,4	5896,8	695,5	52,4	49,1	117,7	7099,8		
14	38,3	197,6	39,3	44,6	5352,5	695,5	95,7	49,1	117,7	6630,4		
15	44,6	203,3	88,2	54,2	4263,8	574,5	138,8	49,1	106,6	5523,3		
16	43,6	189	120,7	52,4	2751,8	483,8	163,5	49,1	88,9	3943		
17	38,3	159,2	134,8	47,1	786,2	181,4	163,5	364,1	66,8	1941,6		
18	31	112,6	118,4	37,5	60,5	60,5	154,2	651,4	40,1	1266,3		
19	20,4	45,8	48,1	23,2	30,2	30,2	138,8	336,4	11,1	684,4		
20	11,6	18,1	12,1	12,3	-30,2	-30,2	123,5	336,4	-11,1	442,5		
21	4	9,1	4,3	2,5	-60,5	-60,5	101,8	336,4	-33,2	303,9		
22	-1	1,26	-1,5	-4,5	-90,7	-90,7	80,4	336,4	-55,7	173,9		
23	-6,8	-5,8	-7,3	-12,3	-120,9	-120,9	61,7	336,4	-71,1	52,9		
TOTAL DIARIO	208,6	1010,7	210,6	-236,4	40672,8	2540,2	962,6	7718,7	-955,8	49612,2	kcal/ dia	

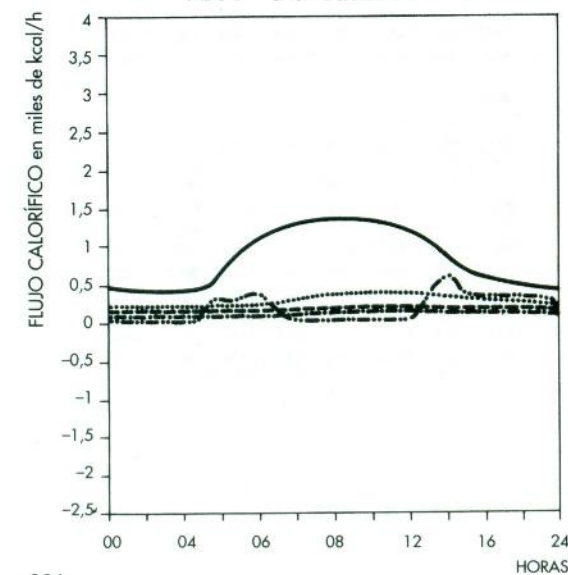
HORAS	CONSTRUCCIÓN DE MADERA				VIDRIO SENCILLO				CUBIERTA EN EL INTERIOR	CALOR PRODUCIDO EN EL INTERIOR	FILTRACIONES	TOTAL POR HORAS
	E	S	O	N	E	S	O	N				
	208	257	208	257	0	120	0	120	1225			
0	52,4	64	51,4	67,3	241,9	241,9	172,8	147,4	144,4	1183,6		
1	50,4	60,9	49,4	64,7	211,7	211,7	165,3	147,4	137,8	1097,7		
2	47,1	57,7	46,1	61	211,7	211,7	157,5	147,4	133,3	1073,5		
3	45,6	54,9	44,6	58,2	211,7	211,7	148,2	147,4	115,6	1038		
4	44,6	53,6	43,6	56,9	211,7	211,7	141,9	147,4	115,6	1027,1		
5	43,6	52,4	42,3	55,7	211,7	211,7	138,8	147,4	133,3	1037		
6	43,6	52,4	42,3	55,7	302,4	332,6	135,8	336,4	137,8	1439,2		
7	44,6	53,6	43,6	56,9	453,6	483,8	135,8	336,4	151,2	1759,7		
8	49,4	57,7	46,6	61,5	544,3	574,5	138,8	399,4	166,6	2038,4		
9	57,2	65,5	52,4	69,3	604,8	604,8	142,1	200,3	182,2	1978,7		
10	61,7	73,1	57,2	77,1	635	635	151,2	49,1	200,1	1939,6		
11	67	79,1	62,5	83,6	695,5	665,3	163,5	49,1	213,4	2079,2		
12	71,3	86,2	67,5	89,9	695,5	695,5	175,9	49,1	222,3	2153,3		
13	73,3	90,7	71,8	95,2	695,5	665,3	191,3	49,1	226,5	2158,9		
14	74,8	94,5	74,3	97,7	665,3	665,3	200,8	49,1	231,1	2153,1		
15	75,3	95,2	76,6	99,8	665,3	665,3	206,6	49,1	266,5	2159,9		
16	76,1	96,5	78,1	101	604,8	635	212,9	49,1	222,3	2076		
17	74,3	94	78,1	98,5	544,3	574,5	215,9	364,1	217,7	2261,7		
18	72,3	91,2	76,1	96,5	483,8	423,3	212,9	651,4	204,3	2312,1		
19	70,3	87,4	73,3	92	302,4	302,4	212,9	336,4	195,5	1672,7		
20	64	79,6	65,5	84,2	272,1	272,1	203,8	336,4	186,7	1564,6		
21	60,2	74,5	59,7	78,4	272,1	272,1	194,5	336,4	177,9	1526,1		
22	58,2	71,3	57,2	75,1	241,9	241,9	190,7	336,4	164,5	1434,9		
23	56,2	68,5	54,9	71,8	241,9	241,9	179,1	336,4	155,5	1406,4		
TOTAL DIARIO	1433,6	1755,2	1415,5	1848,4	10221,1	10251,3	4183,9	5198,7	4263,8	40571,7	kcal/ dia	

MIAMI CASA EQUILBRADA 21 DE ENERO



300.

MIAMI CASA EQUILBRADA 21 DE JULIO

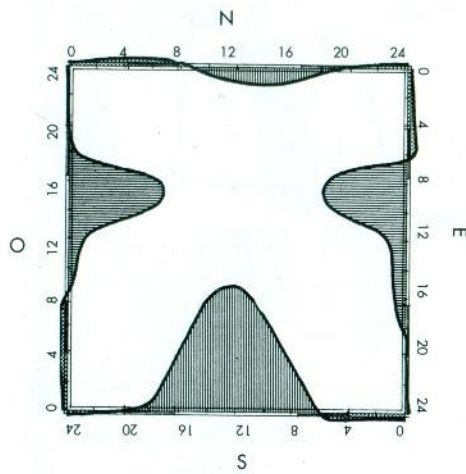


301.

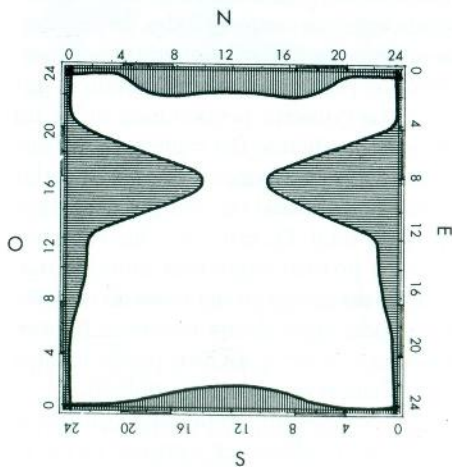
MIAMI

CASA ORTODOXA

INVIERNO

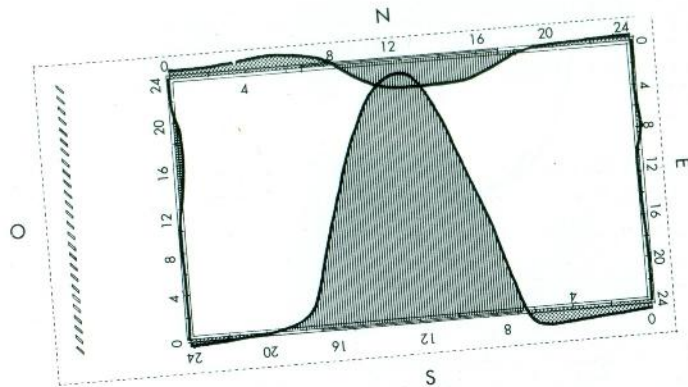


VERANO

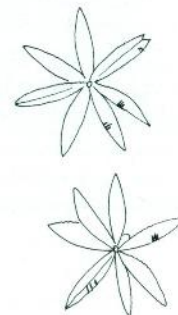
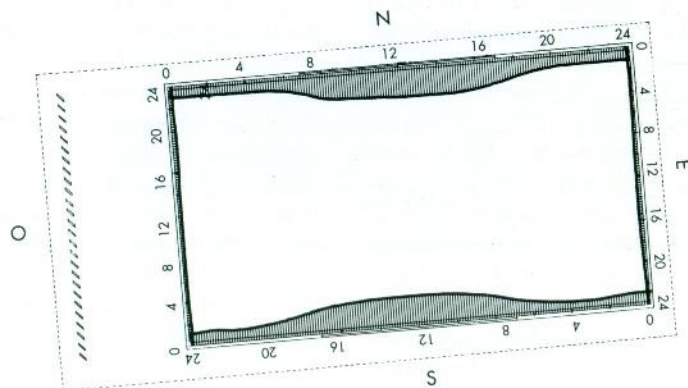


CASA EQUILIBRADA

INVIERNO



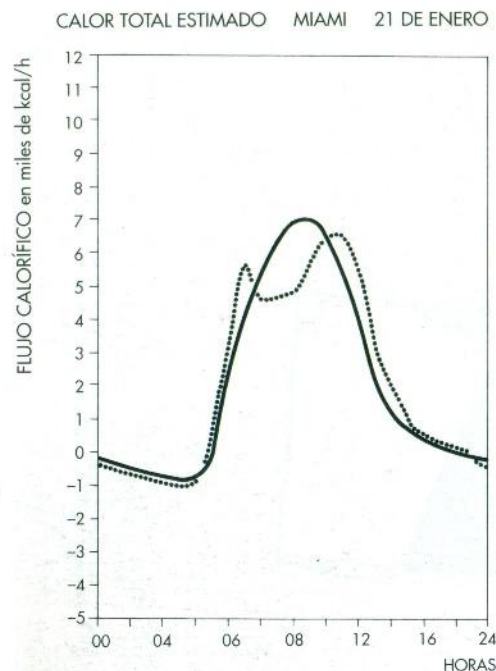
VERANO



ESCALA EN m

0 1,5 3 4,5

ESCALA DE IMPACTOS
CALORÍFICOS EN miles de kcal



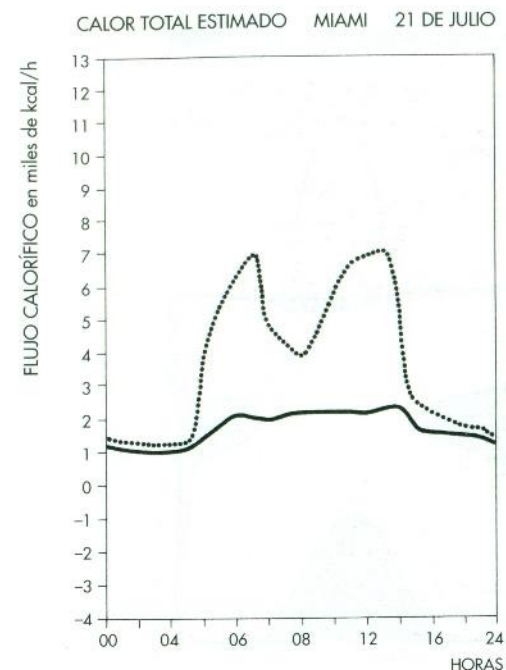
303.

La vivienda equilibrada fue objeto de modificaciones en su orientación, redistribución de sus aberturas, su morfología, ventilación en la cubierta, ventilación de los electrodomésticos, tejadillos o voladizos y elementos de sombra. En verano los porcentajes de ganancia calorífica son: la construcción en madera, para cada orientación un 4 %, total 16 %; las superficies acristaladas un 25 % al sur y un 25 % al norte. La cubierta un 10 %, la infiltración un 11 % y el calor generado en el interior un 13 %. La pérdida de calor durante el invierno es despreciable, y se produce debido a las filtraciones.

La comparación entre los comportamientos caloríficos diarios, durante invierno y verano, de ambos tipos de viviendas emplazadas en Miami, aparece ilustrada en las gráficas, junto con el método descrito en la página 118. Nótese que en la casa equilibrada se han reorganizado las ventanas (11 m² de superficie orientada al sur y 11 m² al norte), y se han introducido elementos tales

como voladizos, toldos o árboles para proporcionar sombra. En el gráfico de la casa equilibrada puede observarse claramente la reducción de la carga calorífica durante el verano. También se muestran las curvas de flujo calorífico total diario de ambas casas para la época invernal. Debido a que, en las condiciones dadas, la edificación ortodoxa registra un comportamiento térmico positivo, la casa equilibrada solamente deberá amortiguar los impactos caloríficos. Analizando los flujos caloríficos totales en verano de ambos casos, es posible observar los fluctuantes impactos de calor de la casa ortodoxa, con puntas caloríficas de 6705 kcal, que contrastan con el efecto amortiguador de la casa equilibrada, que presenta una carga máxima de 2262 kcal.

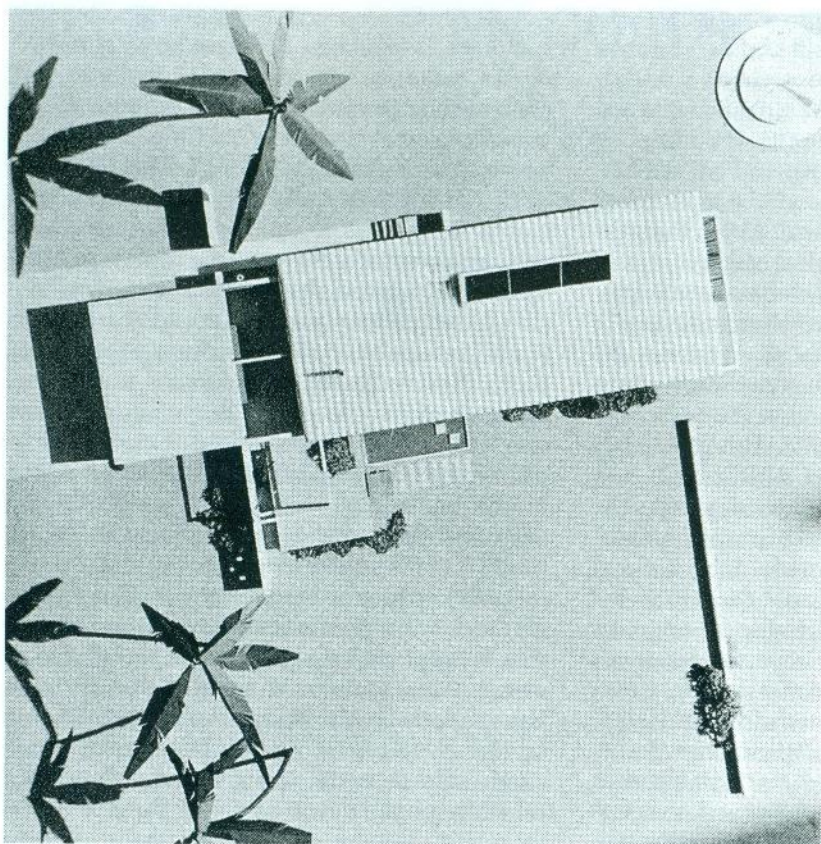
Debido a que el período frío constituye, en esta región, solamente el 12 % del año, las condiciones invernales tienen relativamente poca importancia para la evaluación. Además, las edificaciones que se encuentran sometidas a condiciones



304.

medias de asoleo mantendrán su nivel térmico cerca de las condiciones de confort. Todas las paredes, excepto las orientadas a norte, tienen un comportamiento térmico positivo, con una ganancia térmica del 2 %. La cubierta proporciona entre un 2 % y un 9 %, dependiendo del material y del sistema constructivo. Las superficies acristaladas aportan la mayor cantidad de energía calorífica, más del 80 % del total. De este total, las ventanas de la fachada sur proporcionan una cantidad mayor que la suma del conjunto del resto de orientaciones; en segundo lugar de aportaciones figuran las fachadas este y oeste, e incluso puede decirse que la norte trabaja positivamente también.

La mejora apreciable en la casa equilibrada respecto a la ortodoxa, en verano, es el resultado de la aplicación de las siguientes medidas: orientación, forma y redistribución de aberturas (-22.658 kcal) 24 %; sombra de superficies acristaladas (-10.251 kcal) que intercepta la carga calorífica en un 11 %. Nótese



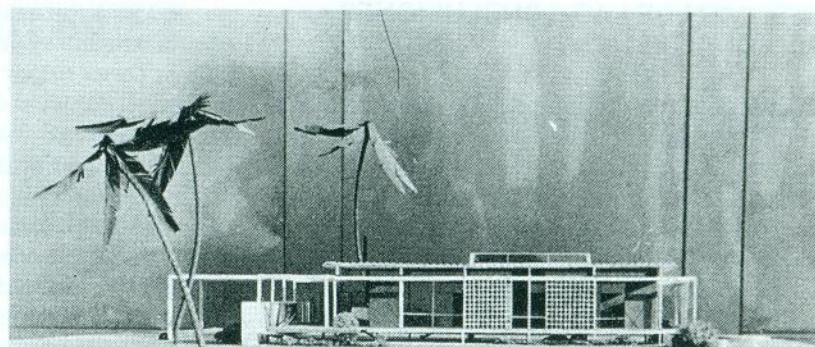
Planta

305. Adaptación de los principios del área de Miami.

que cuando se aprovecha al máximo la orientación, el efecto de sombra disminuye. No obstante, debido a su interrelación, se puede considerar que ambos aspectos conjuntamente aportan un 35 %. El sistema de cubierta "en sombra" empleado alcanza (-9803 kcal) un 11 %. La reducción de las filtraciones proporciona una disminución (-4264 kcal) del 4 %. La sombra en los muros (-1853 kcal) un 2 %, la venti-

lación de los electrodomésticos (-2747 kcal) un 3 %. Comparada con la ortodoxa, la vivienda equilibrada proporciona una reducción total de la ganancia calorífica del 55 %.

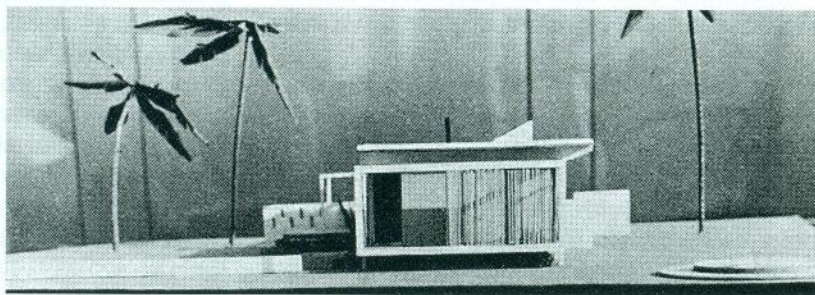
En este caso, el índice de importancia anual se calcula adoptando las condiciones del verano como criterio, debido principalmente a su duración (88 %) y las mínimas tensiones producidas en el período frío. Consecuentemente, el orden



Vista sur



Vista norte



Vista este

de aplicación de las medidas es: (1) orientación y sombra en las superficies acristaladas 64 % (en este caso específico, y debido a su interdependencia, pueden considerarse de forma conjunta); (2) los planos horizontales adquieren mayor importancia, según la construcción de la cubierta, en 20 %; (3) la reducción de las filtraciones 7 %; (4) ventilación de electrodomésticos 5 %; (5) sombra en la superficie de los muros 4 %.

RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES REGIONALES

Tal como se apuntó al comienzo de este capítulo, el método de cálculo adoptado tiene sus limitaciones y, por lo tanto, sólo permite obtener una abstracción del comportamiento climático de las edificaciones. Para intentar llegar a conclusiones unificadas, se han analizado en los diversos climas dos tipologías de viviendas, la "ortodoxa" y la "equilibrada" (esta última basada principalmente en modificaciones arquitectónicas introducidas en la casa "ortodoxa"). Este método no permite el manejo adecuado de ciertos aspectos importantes, por ejemplo de los efectos aislantes, los cuales pueden aportar una diferencia muy marcada. Algunos aspectos, tales como las alteraciones microclimáticas no se han aplicado, o en ciertos casos, solamente como aproximaciones. Los índices de importancia anual de las medidas aplicadas fueron evaluados de acuerdo con las sensaciones humanas, considerando las cargas caloríficas el doble de importantes que las pérdidas de temperatura. Este tipo de índice sería mucho más elevado si se calculara a partir de los costes de aire acondicionado.

Como consecuencia, las observaciones descritas son válidas para las casas específicamente designadas, y en las circunstancias determinadas. Los análisis cuantitativos de otro tipo de viviendas, con distintas proporciones o con materiales de características diferentes, pueden dar resultados diversos. No obstante, partiendo de estos análisis y observaciones, podemos establecer las siguientes conclusiones:

Cargas térmicas en las cuatro regiones,

1) Los condicionantes propios del período frío son el principal determinante de las necesidades proyectuales en las regiones frías (Minneapolis -175.641 kcal, con una duración del 75 %) y templada (Nueva York -114.406 kcal, con una duración del 72 %). En latitudes más bajas las tensiones invernales decrecen rápidamente (Phoenix -16.632 kcal, con duración del 37 %; Miami 0,0 kcal, y duración del 12 %).

2) Las tensiones del verano se reparten más equitativamente entre las diferentes regiones (con la carga mayor en la zona cálida y árida), aunque su duración disminuye a medida que nos trasladamos más hacia el norte. (Minneapolis +65.519 kcal, duración 25 %; Nueva York +69.551 kcal, duración 28 %; Phoenix +135.826 kcal, duración 63 %; Miami +90.971 kcal, 88 %). Tanto en la región cálida-árida, como en la cálida-húmeda, las especificaciones de diseño se basan principalmente en condiciones de altas temperaturas.

3) El margen total anual de tensiones (la combinación de las cargas de invierno y verano) se incrementa en latitudes altas (Minneapolis, 245.700 kcal, Nueva York, 183.960 kcal, Phoenix, 152.460 kcal, Miami, 90.972 kcal).

4) La relación de amplitudes de cargas estacionales indican que una edificación emplazada en la zona cálida-húmeda deberá construirse con el objetivo principal de reducir las cargas caloríficas. Los edificios de las regiones templadas y cálidas-áridas deberán desempeñar un doble papel, el de conservación y disminución de los impactos térmicos en las estaciones apropiadas. Las edificaciones de las zonas frías tienden a impedir principalmente las pérdidas de calor, y esta tendencia se acentuará a medida que aumente la latitud.

Importancia de los elementos climáticos

5) En latitudes septentrionales los efectos de la temperatura (filtración, convección) adquieren un papel más importante en relación con la carga calorífica. En latitudes un poco más bajas el asoleo es el aspecto determinante. En las más meridionales los efectos de la radiación solar dominan la situación climática.

Importancia de los elementos estructurales

6) La superficie de los muros recibe, en latitudes septentrionales, la mayor carga calorífica; su protagonismo es menor a medida que se descende a latitudes situadas al sur.

7) La cubierta tiene, sin embargo, unas características inversas; su carga calorífica así como su importancia aumentan hacia latitudes inferiores. En las regiones situadas al sur, su diseño requiere una atención específica.

8) El elemento más sensible de toda edificación es la superficie acristalada. La situación de las ventanas, en relación al invierno y al control solar durante el verano, produce el mayor efecto en el equilibrio del flujo calorífico.

Acerca de la importancia de la habitabilidad

9) Es posible mejorar la respuesta a las condiciones invernales de una vivienda proyectada de forma neutral respecto a su medio ambiente climático (aquí denominada casa "ortodoxa"), principalmente en las latitudes más bajas (en Minneapolis un 42 %, en Nueva York un 49 %, en Phoenix puede considerarse que en condiciones medias de un día despejado no existe carga calorífica). La magnitud regional media de la reducción de pérdida calorífica mediante la utilización arquitectónica de las posibilidades naturales (aquí denominada casa "equilibrada"), puede alcanzar el 64 %.

10) El alivio de las cargas caloríficas de los períodos cálidos es más efectivo en las edificaciones emplazadas al norte que en las que se encuentran al sur (en Minneapolis un 75 %, en Nueva York un 71 %, en Phoenix un 42 % y en Miami un 55 %). La reducción media de la carga calorífica de una casa equilibrada en relación a una neutral es del 61 %.

EL TERMOHELIODÓN

La mayor limitación de los métodos de cálculo, como medio para determinar los principios de la planificación heliotérmica, consiste en que proporcionan resultados que sólo pueden medirse en términos de dimensiones caloríficas abstractas, las cuales, a diferencia de, por ejemplo, la temperatura, no pueden relacionarse fácilmente con las sensaciones físicas humanas.

Para superar esta dificultad se han llevado a cabo numerosos intentos de desarrollo de un método empírico que permita obtener las mediciones actuales de temperatura en diversas edificaciones, bajo condiciones climáticas variables (ver Apéndice B).

XII. EJEMPLOS EN CUATRO REGIONES

APLICACIÓN ARQUITECTÓNICA A ORDENACIONES URBANAS

Los capítulos anteriores están relacionados con la investigación de los efectos de la influencia climática sobre los edificios. Numerosos estudios de aproximaciones exactas o factibles se detienen en el límite del análisis abstracto, y esto es correcto y recomendable en la mayoría de los campos teóricos. Sin embargo, la arquitectura tiene una naturaleza práctica; la valoración de los principios radica principalmente en su posible aplicación a los problemas presentes y futuros.

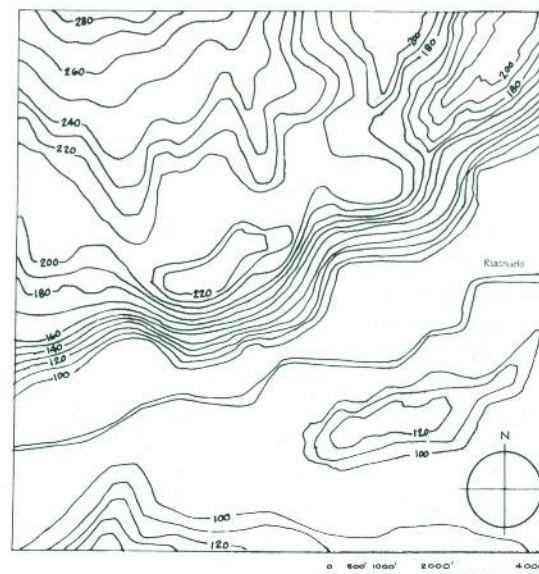
En primer lugar, los cálculos se prepararon para resumir las observaciones y los datos de forma sinóptica. En cada una de las regiones estudiadas se han seguido los siguientes pasos: en primer lugar se ha realizado un análisis indicando las características generales de los elementos climáticos predominantes, su importancia relativa y sus efectos direccionales; en segundo lugar se han determinado diferentes categorías relacionadas con la ordenación residencial, el diseño de los edificios y los elementos constructivos, además de añadir ciertas recomendaciones o datos específicos para una aplicación directa. Estas interpretaciones hacen referencia de forma abreviada al material discutido en los capítulos anteriores. Los datos climatológicos citados proceden de los Análisis Climáticos Regionales A.I.A.¹, así como también ciertas interpretaciones adicionales².

La segunda parte de dichos resúmenes contienen interpretaciones arquitectónicas de ordenaciones residenciales situadas en diferentes regiones, que servirán para ilustrar los datos analíticos, con ejemplos de soluciones sintéticas. La expresión visual evidenciará más fácilmente las diferencias arquitectónicas en las distintas regiones.

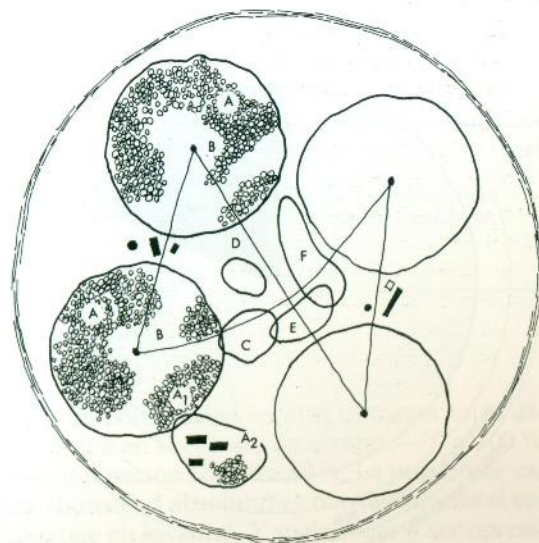
En los ejemplos, todos los factores —tales como el emplazamiento, la organización de la vivienda, la tipología edificatoria y sus cantidades— se mantuvieron constantes (sólo se admitieron ligeras modificaciones inevitables), de forma tal que el efecto de los impactos climáticos sea el único motivo de variación. Por supuesto una interpretación como esta, aunque válida en sus intenciones, tiene ciertas limitaciones. La distribución en planta podría haber gozado de mayor libertad si hubiéramos escogido un terreno más accidentado para la región fría, en contraste con el área plana y regada de la zona cálida-húmeda. Igualmente se podrían haber conseguido expresiones más precisas si en lugar de analizar zonas frías y cálidas-húmedas, se hubieran escogido regiones frescas y tropicales; no obstante, debemos recordar que la aplicación de este programa está limitada a Estados Unidos y a una tipología edificatoria restringida. Por último, los valores subjetivos que emergen de la naturaleza del lugar y del uso del color según las tradiciones locales deberán suprimirse para salvaguardar la objetividad.

Cada emplazamiento dado abarca un área de 10,36 km². Dentro de cada territorio se escogió la localización apropiada de los conjuntos residenciales. La topografía consiste en una plataforma superior y una inferior dividida por un risco escalonado que sigue la dirección sureste. En la parte inferior se encuentran un riachuelo y el acceso principal a la autopista que corre en dirección este-oeste.

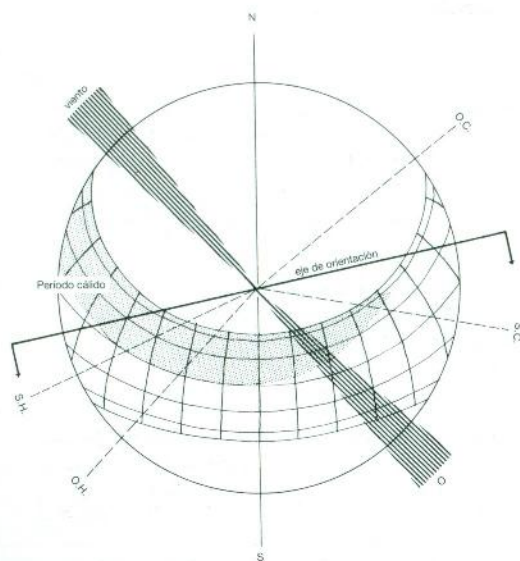
La ordenación residencial está basada en los principios de una unidad vecinal. La población total de cada vecindario es de 4800 habitantes, con ingresos medios o medios-altos. Cada familia está formada por una media de 3,5 personas. El vecindario está compuesto por cuatro colonias residenciales formadas por 1200 habitantes cada una y por un espacio central.



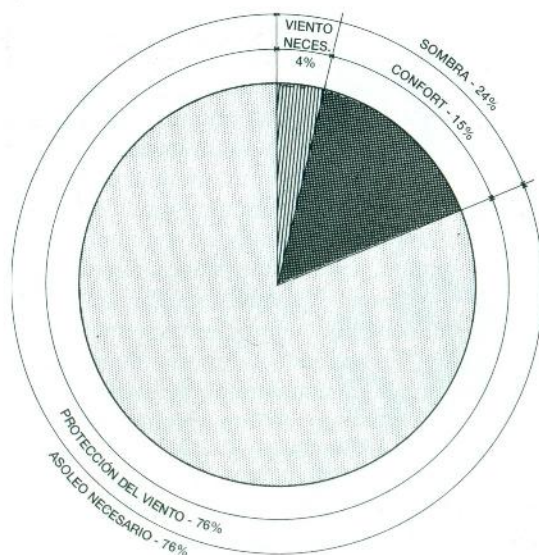
306. Topografía del emplazamiento.



307. Esquema de organización.



308. Análisis direccional.



309. Necesidades bioclimáticas.

Las viviendas tienen dos, tres y cuatro habitaciones; y se distribuyen en viviendas aisladas, en hilera y en apartamentos. El índice aproximado de unidades de viviendas responde a las siguientes proporciones:

A	Viviendas aisladas	60 %	870 unidades
A1	Viviendas en hilera	20 %	280 unidades
A2	Apartamentos	20 %	280 unidades

Cada colonia posee una guardería diurna con patio de juegos; las colonias adyacentes están provistas de biblioteca, farmacias y tiendas de mercancías variadas y un lugar para el culto y la oración. La zona central del vecindario está formada por:

- C. Área comercial: centro comercial, supermercado, tiendas y oficinas.
- D. Área administrativa: oficina de correos, oficinas de la administración del estado, oficinas.
- E. Área recreacional y cultural: parvulario y escuela primaria, auditorio, club social y restaurante.
- F. Área deportiva y recreacional: campo de atletismo y de fútbol, canchas de tenis, áreas de picnic con amplias zonas verdes.

El sistema de comunicaciones consiste en una ronda perimetral conectada con la autopista, además de las travesías residenciales que conectan con esta ronda y dan acceso a las zonas de viviendas, de forma tal que los caminos de los peatones sufran la mínima interferencia posible con el tráfico.

En las siguientes aplicaciones se han utilizado como ejemplo cuatro localidades. Los entornos climáticos de Minneapolis, Nueva York, Phoenix y Miami se han seleccionado como ejemplos de las zonas frías, templadas, cálidas-áridas y cálidas-húmedas.

REGION FRÍA

Interpretación climática específica de Minneapolis

EN GENERAL:

Las temperaturas registradas varían desde los $-36,7^{\circ}\text{C}$ hasta los $42,2^{\circ}\text{C}$. Es decir, excesivamente alta en verano y demasiado baja en invierno. Vientos fríos durante un largo invierno. Patrón persistente de viento NO-SE durante todo el año. Pocas tormentas veraniegas, en cambio, gran cantidad de lluvia y nieve fina en invierno.

ANÁLISIS DETALLADO:

1. *Temperatura.* Las temperaturas por encima de los 32°C se registraron durante quince días entre junio y setiembre. Las temperaturas mínimas, por debajo de $-1,1^{\circ}\text{C}$, o en punto de congelación, se registraron durante 147 días, entre octubre y mayo.

Horas totales anuales:

por encima de 29°C	4 %
entre $18,3$ y 29°C	23 %
entre $7,2$ y $18,3^{\circ}\text{C}$	25 %
entre -4 y $7,2^{\circ}\text{C}$	26 %
entre -18 y -4°C	18 %
por debajo de -18°C	4 %

2. *Asoleo.* El clima es soleado un 58 % de las horas posibles, pero su distribución anual es descompensada. Un 74 % de las horas en verano, lo cual es excesivo; y un 40 % en invierno, es decir, muy poco. A lo largo del año, hay 147 días nublados y 105 despejados, el resto de los días permanecen parcialmente nublados. En diciembre, la mitad de los días son completamente nublados y siete absolutamente despejados. En todos los meses, desde octubre hasta junio, los días nublados son más frecuentes que los despejados.

3. *Viento.* Cerca de las tres cuartas partes del año los vientos ocasionan unas pérdidas caloríficas considerables en los edificios. Los vientos predominantes proceden del noroeste, siendo los del sureste los segundos en importancia. Algunas veces el viento SE se divide va-

ORDENACIÓN DEL CONJUNTO

EL DISEÑO DE LA CASA

1. ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO Para el asoleo, las pendientes S y SE son las más favorables. Emplazarse en la media ladera o en la media baja ladera, es beneficioso para prevenir un efecto excesivo de los vientos y evitar el embalsamiento de aire frío.	1. TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA En las ordenaciones residenciales, las viviendas de una o dos plantas favorecen la compacidad. Las viviendas en hilera y los edificios colindantes ofrecen la ventaja de perder menor cantidad de calor. En los edificios de apartamentos de mayor volumen las distribuciones compactas son las más favorables.
2. ESTRUCTURA URBANA La ordenación deberá proporcionar protección contra los vientos. Las edificaciones de mayor tamaño podrán agruparse aunque manteniendo espacio entre ellas para aprovechar el efecto solar. Las casas tienden a unirse para exponer la menor superficie posible y así evitar las pérdidas de calor.	2. DISTRIBUCIÓN GENERAL La conservación y economía de la calefacción es tres veces más importante que la provisión de confort en verano. Las condiciones extremas, tanto en verano como en invierno, sugieren como solución dos zonas separadas que cumplan el doble papel del edificio. Es positivo que el recibidor tenga un espacio para guardar la ropa. Deben evitarse los escalones en el exterior y las rampas para coches muy inclinadas.
3. ESPACIOS PÚBLICOS Protegidos del viento, abiertos, con áreas periódicamente en sombra.	3. PLANTA DE DISTRIBUCIÓN El diseño se regirá por las condiciones predominantes en los meses fríos. El periodo de vida en el interior de la vivienda representa el 70 % de las horas anuales. Aunque la planta deberá satisfacer ambas condiciones a través de la compacidad, es esencial, para el confort del verano, incluir zonas de actividad adicionales o utilizar los espacios exteriores.
4. PAISAJE La topografía, generalmente variable, influye en la definición de las formas de las calles y en la utilización del espacio, otorgándole un carácter irregular.	4. FORMA Y VOLUMEN Las edificaciones deben ser compactas con una superficie exterior mínima. El efecto volumen es muy favorable. La proporción 1: 1.1 o 1: 1.3, desarrollada a lo largo del eje E-O da óptimos resultados.
5. VEGETACIÓN Las barreras vegetales protectoras más favorables son las constituidas por vegetación perenne, orientadas según la dirección NE-SO y situadas a una distancia 20 veces la altura de los árboles. Cerca de las casas se plantarán árboles de hoja caduca. Debe evitarse la vegetación demasiado cerca de la vivienda ya que puede producir humedad.	5. ORIENTACIÓN La orientación solar óptima se sitúa a 12 ° al este del sur. El patrón predominante de vientos (NO-SE) puede influir en la orientación de las edificaciones aisladas.
OBJETIVOS GENERALES EN LAS REGIONES FRÍAS: Aumentar la producción de calor. Incrementar la absorción de radiación y la disminución de la pérdida de radiación. Reducir las pérdidas por conducción y evaporación.	6. COLOR Las superficies expuestas al sol deben tener tonalidades medias; las superficies más retrasadas pueden ser de colores oscuros absorbentes, siempre que se encuentren en sombra durante el verano.

riando su dirección al este; pero el NO mantiene persistentemente su dirección. En ocasiones, durante las tardes calurosas del verano, el viento sopla desde el S-SO.

4. *Precipitaciones.* El índice medio de precipitaciones lluviosas se aproxima a los 68,6 cm. El máximo registrado excede los 101,6 cm y el

mínimo se sitúa en 29,2 cm. En verano, se producen entre cuatro y cinco veces más precipitaciones que en invierno.

5. *Nieve.* El nivel medio de nevadas es de aproximadamente 103 cm, el máximo alrededor de los 216 cm, y el mínimo de los 36 cm.

6. *Humedad relativa y presión de vapor.* Durante el

invierno la humedad relativa es mayor en el exterior que en los meses de verano —70 a 100 % en comparación con 45 a 80 %. La presión de vapor (humedad absoluta) es mayor durante el verano que en invierno. Y suele llegar a ser opresiva en los meses de junio, julio y agosto, durante un total de 27 días aproximadamente.

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

1. ABERTURAS Y VENTANAS

Las ventanas orientadas hacia el sol proporcionan un recurso calorífico auxiliar muy bueno. Excepto en la fachada sur y en parte de la este, las aberturas deben ser pequeñas. Las ventanas deben tener sistemas de control solar en los periodos calurosos. Para reducir las pérdidas caloríficas es favorable colocar en las ventanas cortinajes pesados o postigos. El doble vidrio es esencial. La ventilación controlada es un factor primordial (movimiento máximo de aire de 0,1 m/s). En épocas calurosas la ventilación cruzada es necesaria.

2. MUROS

Materiales lisos y no absorbentes son los más apropiados en las superficies exteriores. Capacidad de aislamiento térmico.

3. CUBIERTAS

Las cubiertas inclinadas son las más adecuadas para permitir la evacuación de la nieve por la acción del viento. Las cubiertas horizontales sin albardillas se despejan más rápidamente. La carga de nieve no debe sobrepasar las 1,02 atm. La forma de la cubierta debe ser sencilla para prevenir la penetración de humedad y la formación de goteras heladas.

4. MATERIALES

- La capacidad de aislamiento frente a bajas temperaturas deberá diseñarse para resistir un gradiente térmico invernal de 31 °C, el índice de aislamiento relativo respecto al S es: E, 1,2; O, 1,2; N, 1,3; cubierta, 1,4.
- Es beneficioso, que la masa constructiva interior tenga una gran capacidad de acumulación calorífica para equilibrar las oscilaciones extremas; el material del muro oeste, con un retraso por inercia de 6 horas, equilibrará la distribución calorífica interna.
- La barrera de vapor situada en el lado más cálido (en la cara interna) de los muros exteriores, es importante.
- Deben evitarse aquellos materiales que son absorbentes o que pueden congelarse y, así, dañarse. Las variaciones extremas de temperatura impiden la utilización de materiales susceptibles a tensiones provocadas por dilatación, contracción y deshidratación excesiva.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN SOLAR

La sombra durante el verano es un elemento importante, sin embargo, en el periodo frío no debe interceptar el impacto solar. En la fachada sur pueden utilizarse protecciones horizontales (ángulo de perfil de 66°). Para proporcionar la sombra adecuada a una tipología residencial pequeña, es necesario colocar cerca de la esquina sureste un árbol de hoja caduca, y en el extremo oeste otros dos. Los elementos externos salientes en edificios plurifamiliares son poco prácticos ya que pueden presentar problemas de congelación.

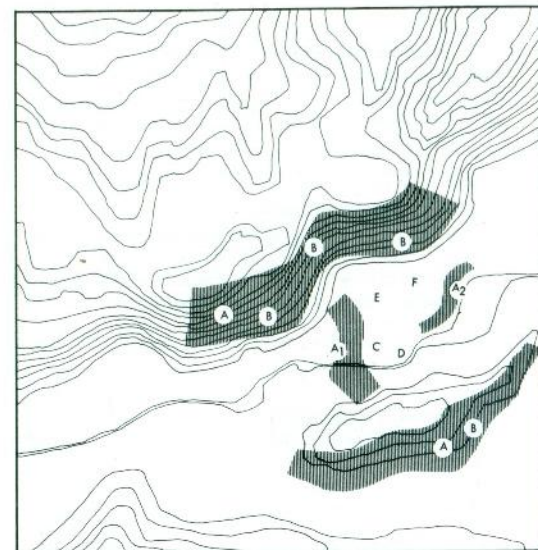
6. CIMIENTOS. SÓTANOS

Los sótanos deberán recibir sol en verano o tener algún sistema artificial de deshumidificación, para evitar las condensaciones que se originan como resultado de la temperatura del terreno.

7. EQUIPO MECÁNICO

Las tuberías de agua y las alcantarillas deberán colocarse en el exterior de los muros, particularmente en los que dan al NO y al SE. Las necesidades anuales de calefacción son las siguientes: 2130 horas de bajo suministro calorífico (5,5 grados-día), 2000 horas de suministro medio (16,5 grados-día), 1500 horas alto suministro (27,5 grados-día), y 300 horas de suministro máximo (38,5-41,25 grados-día).

310. Organización y selección del emplazamiento.



APLICACIÓN

El emplazamiento residencial se eligió principalmente por su exposición solar y por su protección contra los vientos. Las pendientes S-SE reciben una distribución del asoleo estacional favorable y permiten, asimismo, equilibrar el volumen de calor diario. Esta exposición proporciona también protección contra el efecto de los vientos dominantes procedentes del NO. La vegetación desvía las variaciones del viento SE. En el conjunto de la ordenación, las viviendas aisladas (A) se colocan en forma de banda siguiendo aproximadamente las curvas de nivel de la media ladera con cinturones de vegetación situados en los extremos expuestos al viento. Las viviendas agrupadas (A1) establecen la conexión entre las colonias residenciales y conforman patios protegidos de los efectos del viento. En la plataforma más baja se agrupan los edificios de viviendas en altura (A2); el área comercial (C) se sitúa en la zona central, junto con los edificios administrativos (D). La escuela (E) y los

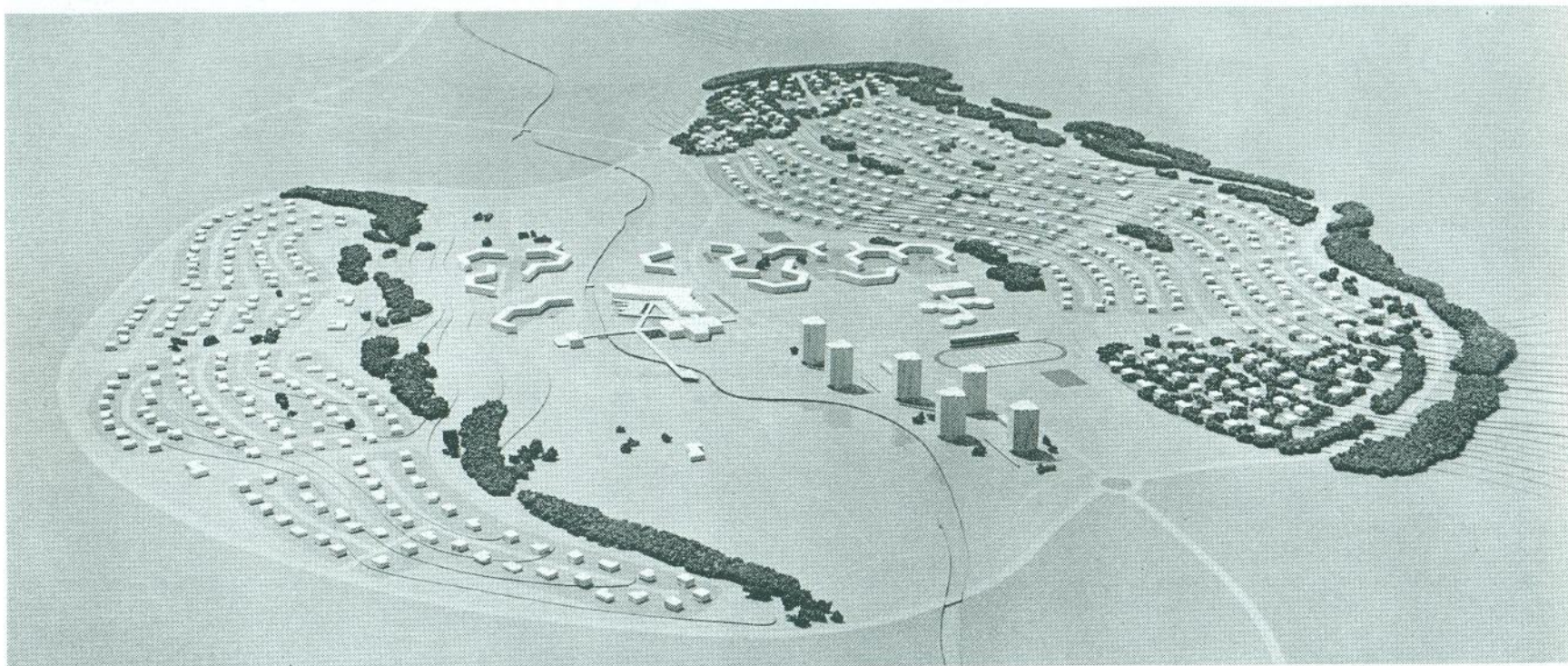


311.

equipamientos recreacionales y deportivos (F) se emplazan en la zona verde pública. La perspectiva sureste del conjunto permite observar la organización relativamente densa

del área residencial, en comparación con la y abertura de los espacios públicos. Nótese que el cinturón vegetal se densifica en los extremos para interceptar los vientos variables. Las uni-

dades edificadas en altura se colocan agrupadamente. La orientación general sigue la dirección aproximada de 10° al este a partir del eje sur.



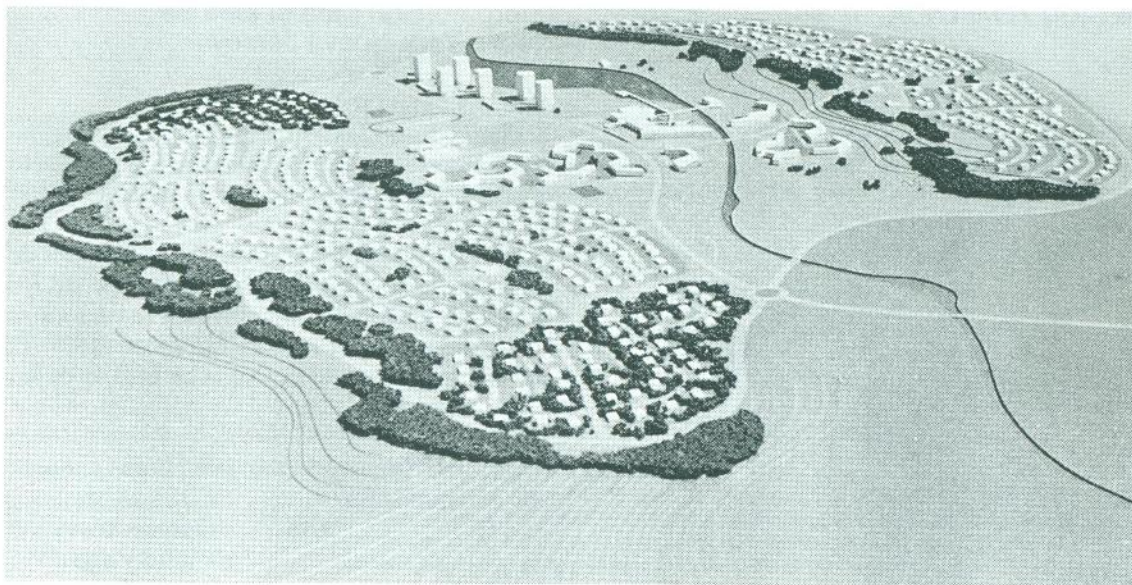
312. Vista este.

El carácter general de una estructura urbana situada en un entorno frío puede definirse como una ordenación densa, soleada y protegida de los vientos.

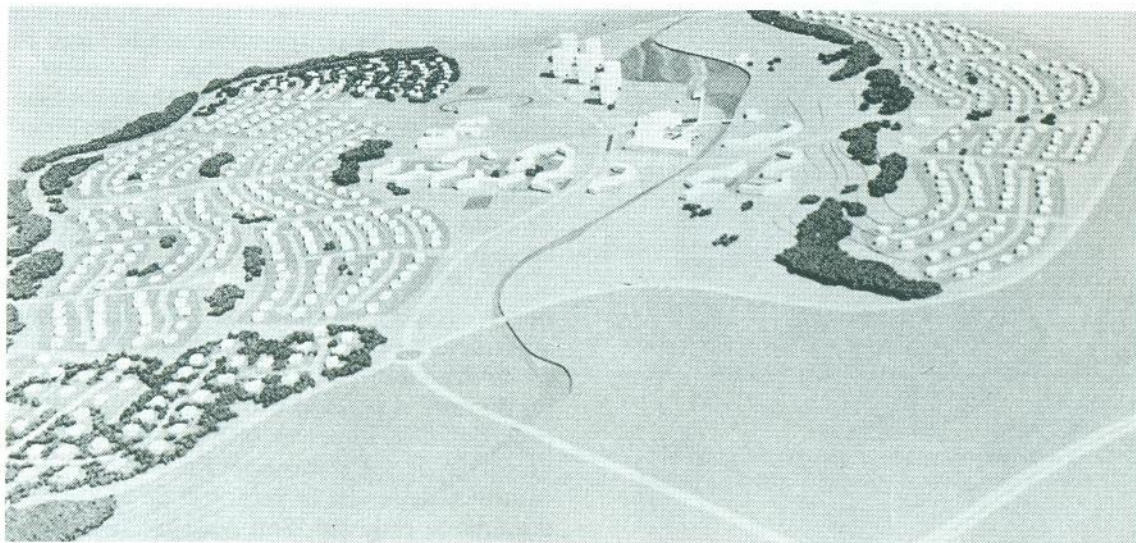
Estas dos perspectivas muestran los lados oeste y noroeste de la ordenación; en las viviendas aisladas se ha buscado la compacidad, con un diseño de forma cuadrada para exponer la menor superficie posible a los elementos atmosféricos. Esto permite una división del suelo en parcelas pequeñas, y por lo tanto una intensificación de su uso en las exposiciones preferentes. Con una organización densa es posible disminuir los impactos del viento, no obstante, deberá cuidarse especialmente el no interceptar los efectos benéficos del asoleo. En los extremos de la ordenación residencial se plantea un esquema alternativo, en el cual las viviendas se sitúan en los claros de la zona arbolada; esto requiere una división en parcelas de mayor tamaño. En general, en las zonas frías las casas tienden a agruparse para protegerse mutuamente, e incluso en algunos casos llegan a unirse para reducir las pérdidas caloríficas.

En la plataforma inferior, donde el aire frío ya ha sido interceptado, es preferible emplazar las torres de los edificios de apartamentos. En el plano, las viviendas en hilera se agrupan en forma de panal. Los brazos expuestos a sureste, sur y suroeste están compuestos por viviendas unilaterales, mientras que los expuestos según un eje norte-sur, contienen unidades bilaterales. Los patios resultantes reducen el impacto de los vientos y permiten el establecimiento de rincones soleados. Los edificios de apartamentos utilizan el efecto volumen: un diseño cúbico con gran volumen y poco perímetro. En este caso se ha adoptado la distribución modelo "casa puntual", con la fachada norte muy cerrada y una exposición sur escalonada. Los edificios públicos se concentran en formaciones compactas, con superficies ciegas hacia el norte y hacia la dirección del viento, y, en cambio, muy abiertas hacia el sur.

El sistema de tráfico rodado residencial pende de la ronda perimetral a la ordenación, extendiéndose en forma de dedos hacia el interior del conjunto. La red de caminos peatonales permite realizar grandes caminatas, y conecta las zonas residenciales con la zona central de equipamientos.

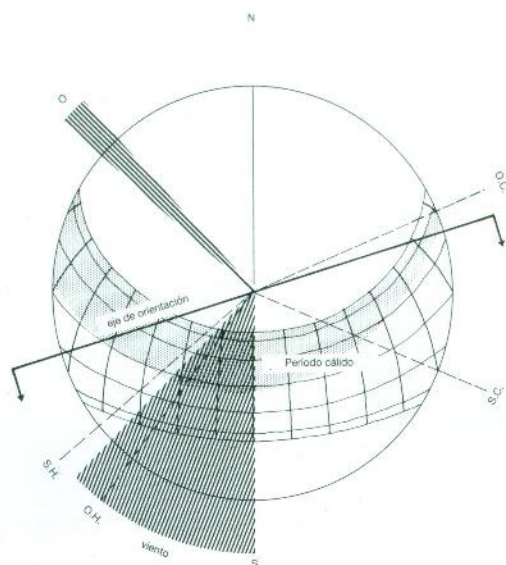


313. Vista desde el noroeste.

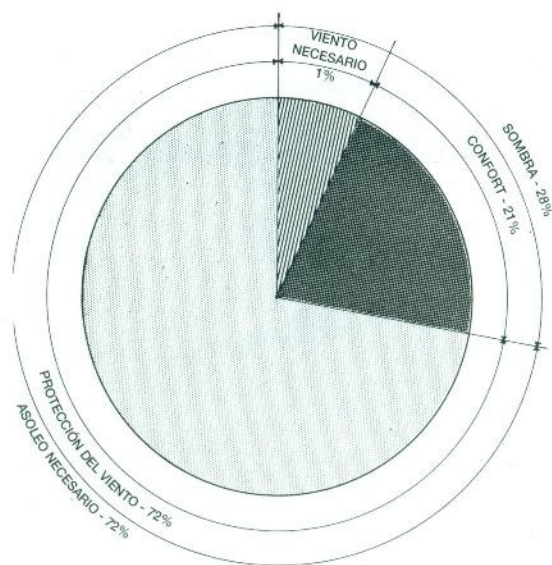


314. Vista desde el suroeste.

REGIÓN TEMPLADA



315. Análisis direccional.



316. Necesidades bioclimáticas.

Interpretación para el área de Nueva York-Nueva Jersey

ANÁLISIS DETALLADO

1. *Temperatura*: La temperatura más alta registrada es de 38,9 °C, y la menor de -25,5 °C. No obstante, la temperatura recomendada a tener en cuenta para el proyecto, durante el verano, es la de 31 °C que se produce en condiciones de calor excepcionales, en algunas tardes de los meses de mayo a septiembre. La temperatura mínima invernal a considerar es de -13,3 °C, condición solamente excedida en un 1 % de las horas anuales.

Distribución de temperaturas en horas anuales: por encima de los

29,4 °C	3 %	algunas veces en julio y agosto
de 18 a 29,4 °C.	28 %	mayoritaria en verano
de 7 a 18 °C.	32 %	en primavera y otoño
de -4 a 7 °C.	31 %	mayoritaria en invierno
de -18 a -4 °C.	6 %	algunas veces en dic., ene. y feb.

2. *Asoleo*. La distribución de días nublados y despejados es bastante uniforme a lo largo de todo el año. La máxima cantidad de asoleo se recibe en el mes de septiembre (68 %), y el mínimo en enero (53 %). El calor del sol constituye una contribución muy valiosa durante los períodos fríos y la sombra es necesaria en los de calor intenso, por lo tanto deberá establecerse un esmerado equilibrio.

3. *Viento*. Las velocidades del viento se mantienen estables a lo largo de todo el año, con aceleraciones medias de 16 km/h, en verano y 19 km/h en invierno. Los vientos predominantes durante el período frío (de octubre a abril) proceden de la dirección NO, y durante el cálido varían de sur a suroeste. En las horas más calurosas de un día de verano la dirección predominante es la sur. Son poco frecuentes los vientos con altas velocidades (por encima de

los 24 km/h). No obstante en enero y febrero pueden darse vientos fuertes procedentes del NO, O, y SO. Vientos con velocidades de 64,4 km/h son probables en cualquier mes; velocidades de viento mayores de 96,6 km/h se han registrado muy pocas veces.

4. *Precipitaciones*. La media de precipitaciones mensuales es bastante uniforme a lo largo de todo el año; con variaciones desde los 7,6 cm en noviembre a 10,5 cm en agosto. La mayor cantidad de precipitaciones, 36,8 cm, se registró en septiembre. Fuertes tormentas de verano pueden proporcionar 2,5 cm de lluvia en 15 minutos, o de 10,2 a 12,7 cm en un solo día.

5. *Nieve*. A efectos de diseño, las nevadas alcanzan los 7,6 cm y las cantidades varían considerablemente. La capa de nieve suele durar solamente un par de días.

6. *Humedad relativa y presión de vapor*. El índice medio anual de la humedad relativa se sitúa entre el 56 y el 76 %. Es menor en invierno que en verano, período de cuatro meses en el que alcanza el 80 % o más. La mayor presión de vapor se registra en los meses de julio y agosto, alcanzando una media de 3200 Pa, no obstante, en situaciones extremas, dicha presión alcanza también los 3200 Pa durante los tres meses de verano.

APLICACIÓN

En la zona templada, la selección del emplazamiento se encuentra basada principalmente en los requerimientos del período frío; no obstante también es importante tener en cuenta las condiciones de los períodos cálidos. Tanto desde el punto de vista de la radiación como de los efectos del viento, las pendientes S y SE son las más favorables. Sin embargo, la utilización del suelo en terrenos horizontales permite una distribución en anillo alrededor de una zona central de actividad pública. Los cinturones de vegetación aseguran la protección contra los persistentes vientos del noroeste que afectan a la zona residencial sin bloquear las brisas refrescantes

ORDENACIÓN DEL CONJUNTO

EL DISEÑO DE LA CASA

1. ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Las pendientes este o sur son las más adecuadas, al igual que ocurre con las necesidades de orientación. La parte más cálida de la pendiente es la mejor opción, no obstante, tanto la inferior como la superior serán también adecuadas si se procura la suficiente protección contra el viento. El aprovechamiento de las brisas en períodos cálidos es muy importante.

2. ESTRUCTURA URBANA

La ordenación residencial más adecuada es la libre y abierta, donde los edificios tiendan a mezclarse con la naturaleza.

3. ESPACIOS PÚBLICOS

Amplias áreas de césped con grupos de árboles para proporcionar sombra son muy beneficiosos. La mejor disposición de las calles es según la dirección SO, ya que así pueden evitarse los vientos invernales y canalizar las brisas veraniegas. Los paseos peatonales pueden trazarse libremente.

4. PAISAJE

En la etapa de proyecto, es importante tener en consideración la relación existente entre el exterior y el interior de una edificación. La utilización de los espacios externos adyacentes a zonas interiores podrá alargarse durante varios meses, siempre y cuando estén bien diseñados.

5. VEGETACIÓN

El emplazamiento más favorable de las barreras vegetales —elementos protectores contra los efectos del viento— es la orientación NO, dirección de procedencia de los vientos invernales. No obstante, la disposición de los árboles no debe bloquear el paso de las brisas veraniegas que soplan del sur y del suroeste. Los árboles de hoja perenne son los más efectivos para la protección contra el viento, en cambio, los de hoja caduca son los más adecuados para proporcionar sombra. Planicies cubiertas de césped, situadas cerca de las edificaciones son útiles para la absorción de radiación. En los extremos este y oeste de la residencia es preferible plantar árboles que proporcionan sombra.

OBJETIVOS GENERALES EN LA REGIÓN TEMPLADA: Tanto el período frío como el cálido representan una parte sustancial del año, por lo tanto, se hace necesario establecer un cierto equilibrio estacional mediante medidas que permitan reducir o permitir —según el caso— la producción de calor, de radiación y de convección.

1. TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA

Esta región permite distribuciones más flexibles. Es posible, además de beneficioso, que exista una relación muy estrecha entre casa y naturaleza. Los edificios unilaterales pueden desarrollarse con formas relativamente libres.

2. DISTRIBUCIÓN GENERAL

El amplio margen de condiciones térmicas requiere el aprovechamiento de la radiación, del efecto de los vientos y de la protección contra ellos. Así, la edificación deberá ejercer un doble papel.

3. PLANTA DE DISTRIBUCIÓN

La libertad en la planta de distribución se caracteriza por la conexión espacial entre las zonas externas e internas. Los edificios deberán tener aberturas hacia el S, SE y permanecer cerrados hacia el lado oeste. Los dormitorios deberán situarse en el lado este, así como también el porche (este podrá utilizarse un 31 % del año o, si se cierra con acristalamiento, un 61 %).

4. FORMA Y VOLUMEN

Las alas de las edificaciones que se alargan en sentido N-S reciben menor impacto que en otras zonas. Por lo tanto, en esta región es posible diseñar edificios cuya planta tenga forma de cruz; no obstante, las extensiones según el eje E-O son las más favorables. La forma óptima es la que tiene las siguientes proporciones 1:1.6. El efecto volumen no es demasiado importante.

5. ORIENTACIÓN

La orientación sol-aire de 17,5° al este del eje sur asegura una distribución calorífica equilibrada. La orientación de los edificios debe estar en relación con la exposición a los vientos.

6. INTERIOR

Es necesario prever una ventilación cruzada adecuada. Aquellas áreas donde se produce humedad deberán separarse del resto de la edificación. La penetración de los rayos solares es beneficiosa, por lo tanto, las profundidades interiores no deberán ser excesivas.

7. COLORES

Los colores medios son los más adecuados; los oscuros se utilizarán solamente en espacios protegidos del impacto solar; la superficie exterior de la cubierta deberá ser de color claro.

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

1. ABERTURAS Y VENTANAS

La distribución de las ventanas es de vital importancia para el equilibrio calorífico interno. Las superficies acristaladas orientadas a sur funcionan bien desde el punto de vista estacional. Es necesario proporcionar protección contra la radiación estival. Las aberturas deberán estar protegidas por pantallas o filtros, y su situación deberá permitir la ventilación cruzada. En la fachada oeste, las ventanas deberán ser pequeñas. Las superficies acristaladas con un solo vidrio transmiten una cantidad de calor media 10 veces superior (en algunas exposiciones, hasta 30 veces) a la transmitida por un muro sin aislamiento.

2. MUROS

Deben evitarse los materiales absorbentes o los que pueden sufrir el efecto de congelación. La penetración de la lluvia y la humedad predominan en la fachada NO.

3. CUBIERTA

Es necesario proporcionar una ventilación proveniente de la parte superior de la habitación y que pueda cerrarse en invierno. Un ventilador de techo es también muy efectivo. Los canalones deben tener capacidad para evacuar 25,5 mm de lluvia procedente del área total de la cubierta en 15 minutos. Deben evitarse las acumulaciones de nieve y lluvia.

4. MATERIALES

- El índice de aislamiento es de 70; el valor de aislamiento requerido en relación a la orientación S es: E, 1,3; O, 1,3; N, 1,4; cubierta, 1,5.
- Para poder equilibrar la distribución calorífica interna, el material del muro oeste debe tener un retardo por inercia de 6 horas.
- La barrera de vapor situada en el lado cálido previene la condensación.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN SOLAR

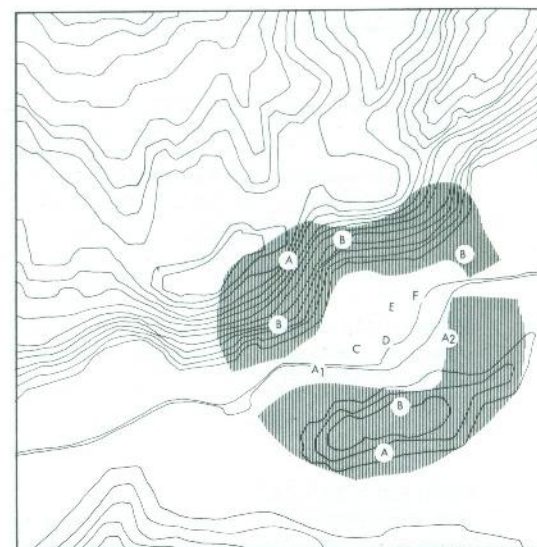
Para proteger las edificaciones bajas se plantarán árboles de hoja caduca en los lados este y oeste, a unos 68° del eje sur. Para proteger los edificios altos, es conveniente colocar un elemento modular de control solar en las fachadas E y O, y lamas verticales orientables en la norte.

6. CIMIENTOS SÓTANOS

La temperatura estival del sótano permanece aproximadamente en un punto medio entre las temperaturas del suelo (11,7 °C), y la temperatura media diaria (22,8 °C), es decir en los 17,22 °C aproximadamente. La deshumidificación es conveniente en un 30-40 % del año.

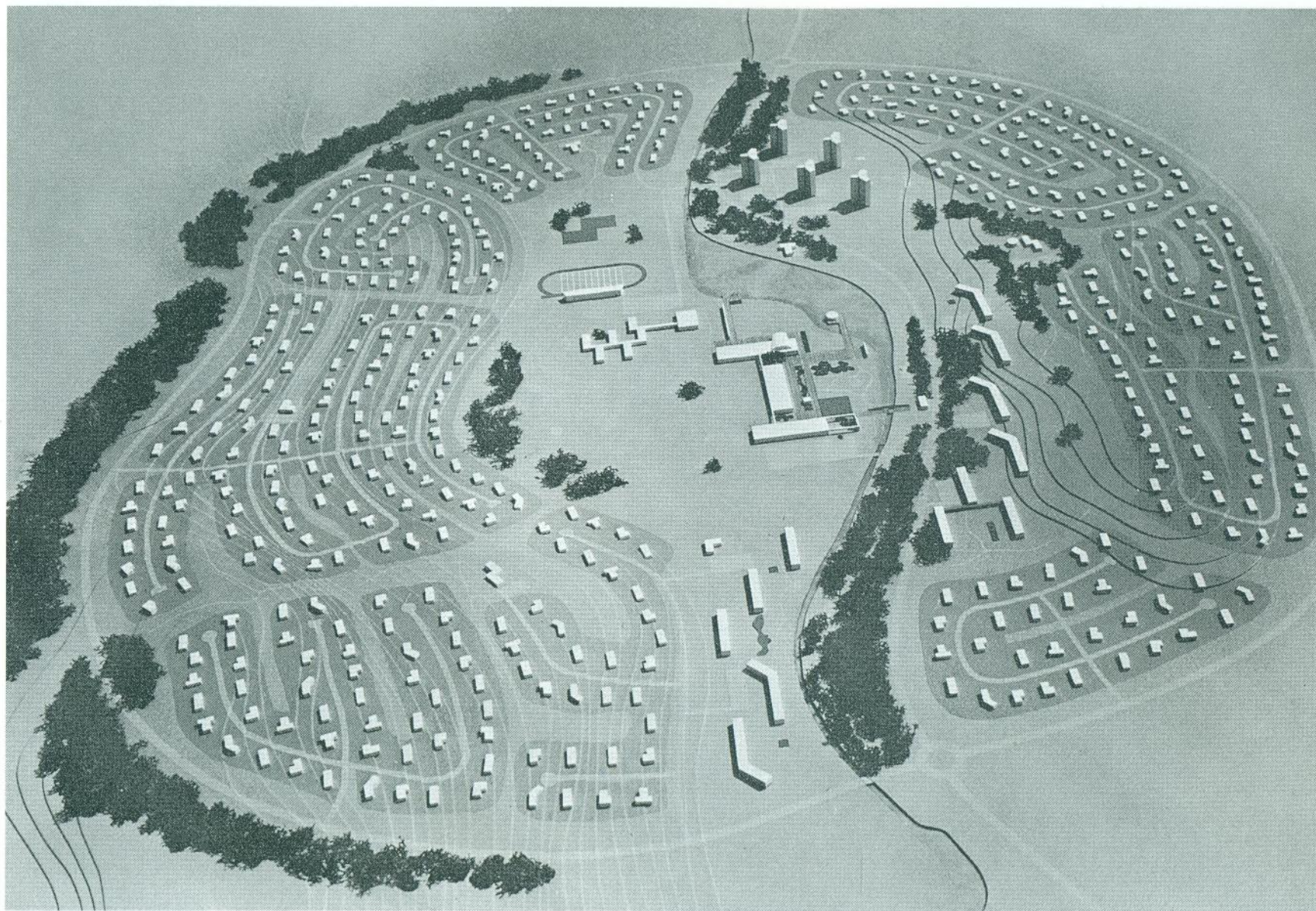
7. EQUIPO MECÁNICO

Los requerimientos caloríficos anuales son: 2830 horas de suministro bajo (en condiciones diarias de -12,22 grados), 2690 horas de suministro medio (a 1,11 °C diarios) y 508 horas de suministro alto (a 10 °C diarios), y algunas horas adicionales de suministro máximo.

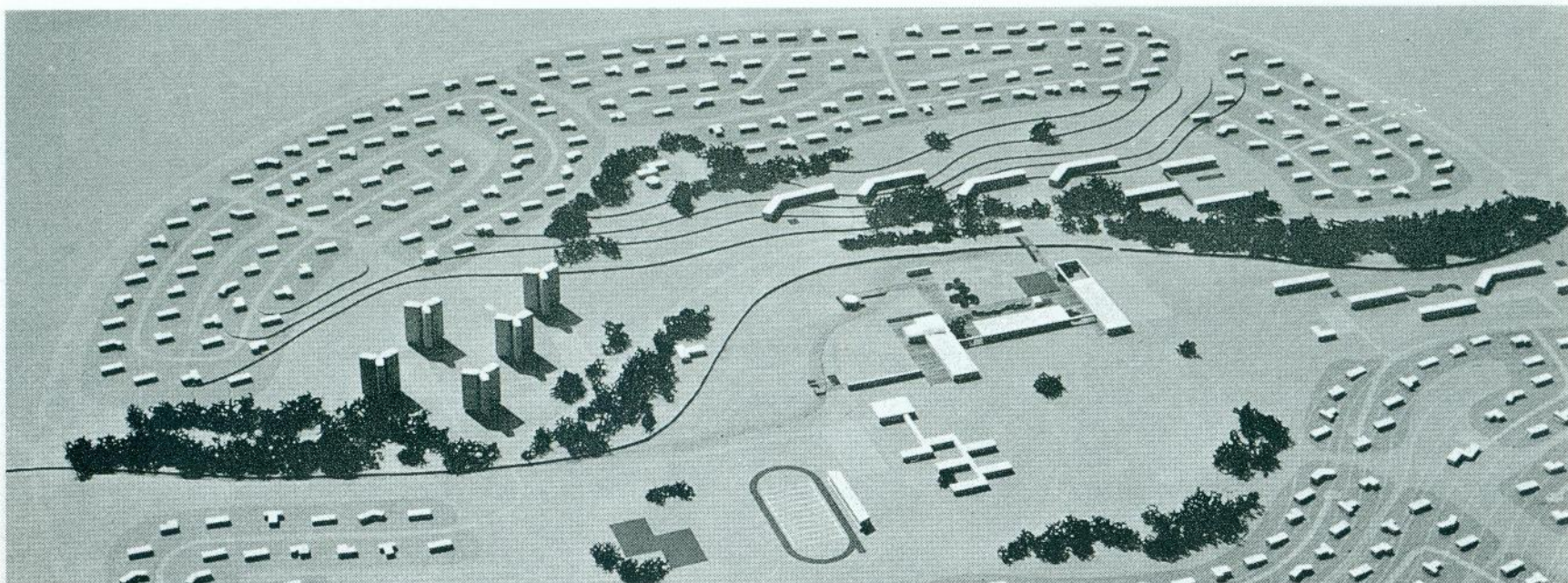


318. Organización y selección del emplazamiento.

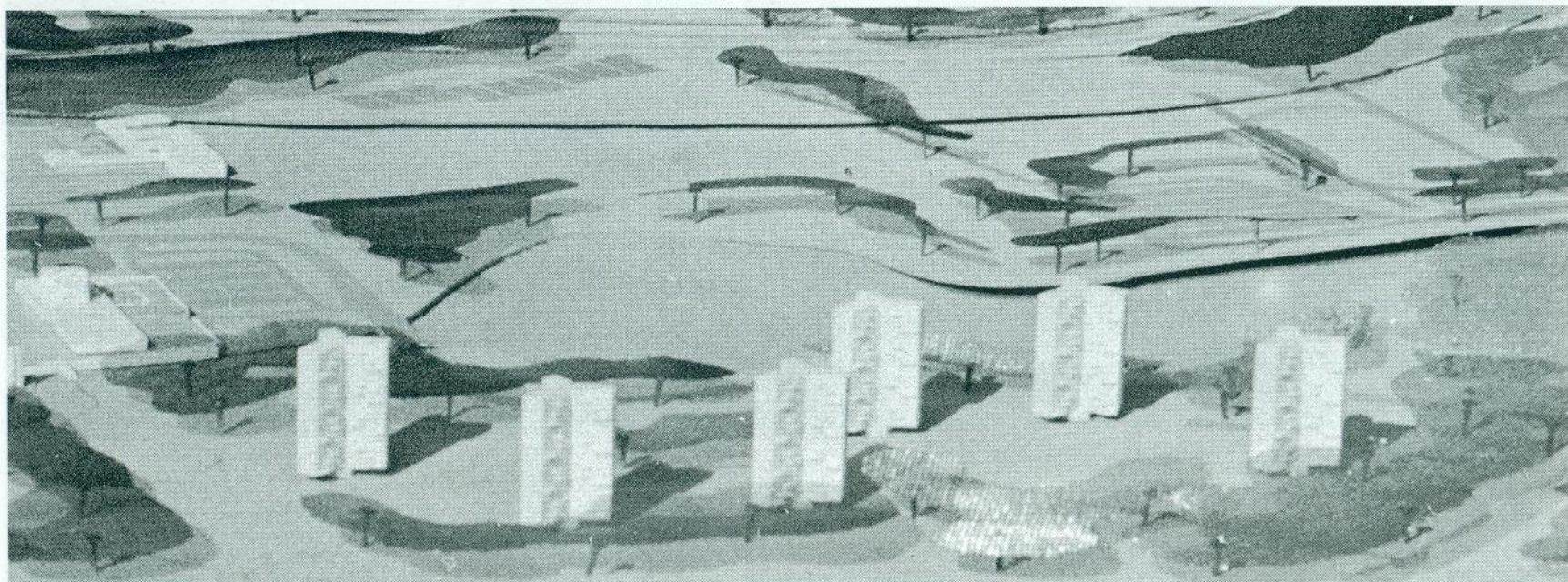
provenientes del sur y del sureste. Las unidades de viviendas en hilera (A1) y los grupos de edificios de apartamentos (A2) se encuentran cerca de la periferia de las colonias residenciales (A). En el área verde central se encuentran: los edificios comerciales (C), los administrativos (D) y la escuela (E), junto con el equipamiento recreacional y deportivo (F). En la vista de la zona verde central podemos observar cómo las bandas de vegetación, aseguran la protección contra el viento, mientras que la red de calles residenciales permite la penetración de las brisas de verano en el conjunto. La orientación general de los edificios está inclinada 18° hacia el este, a partir de la dirección sur. La forma y distribución de los edificios en esta zona es menos restringida. La región templada se caracteriza por presentar unas tensiones climáticas relativamente moderadas a lo largo de todo el año. Como consecuencia, los proyectos pueden ser más flexibles. Incluso son posibles edificaciones con prolongaciones según el eje norte-sur, ya que reciben menor impacto que en otras regiones, por lo tanto, es posible edificar sin



319. Ordenación residencial de una zona templada, vista desde el este.



320. Vista desde el sur.



321. Zona de edificios altos.

problemas construcciones con formas libres o de cruz. No obstante, las estructuras desarrolladas a lo largo de un eje este-oeste son, definitivamente, las más apropiadas.

Esta libertad relativa aparece en la organización de las unidades de vivienda aislada. Entre estas, las oblongas y las que tienen forma de L, y que además están orientadas al SE, son la opción más adecuada. Las viviendas de las disposiciones en hilera, tienen una distribución unilateral, orientadas al S, S-E, con superficies cerradas y habitaciones amortiguadoras del lado de la dirección del viento. Este mismo esquema es adaptable a todas las unidades de vivienda. No obstante, para enfatizar la libertad de posibilidades, se muestran aquí edificios de apartamentos en forma de trébol con áreas habitables orientadas a SE, SO y E; superficies cerradas en dirección de los vientos y control solar a través de la distribución de balcones en las fachadas con mayor asoleo. Los edificios públicos se componen libremente, con espacios exteriores soleados, protegidos de los vientos. La zona protegida del centro comercial y administrativo, al sur, permite realizar actividades en el exterior.

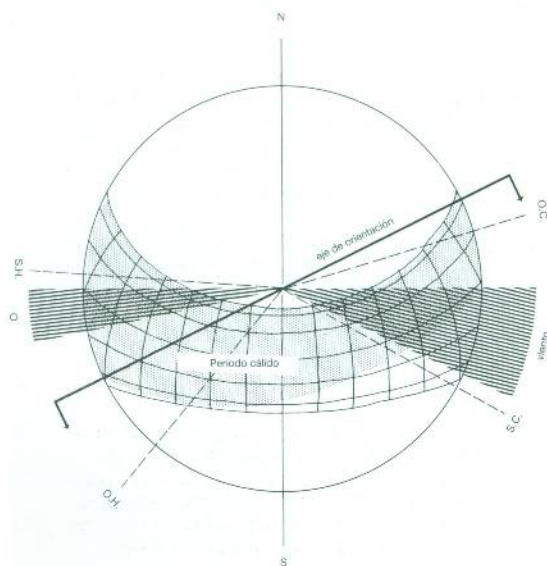
La organización concéntrica del área residencial se encuentra servida por una ronda circular a partir de la cual se desarrolla el sistema de calles residenciales. En las zonas verdes adyacentes a las parcelas privadas se encuentra la red de caminos que dirigen el tráfico peatonal hacia el centro comercial y los equipamientos educativos y recreativos.

Cualquier estructura urbana situada en un ambiente templado se caracteriza por una distribución abierta y libre, donde los edificios y la naturaleza se entremezclan.

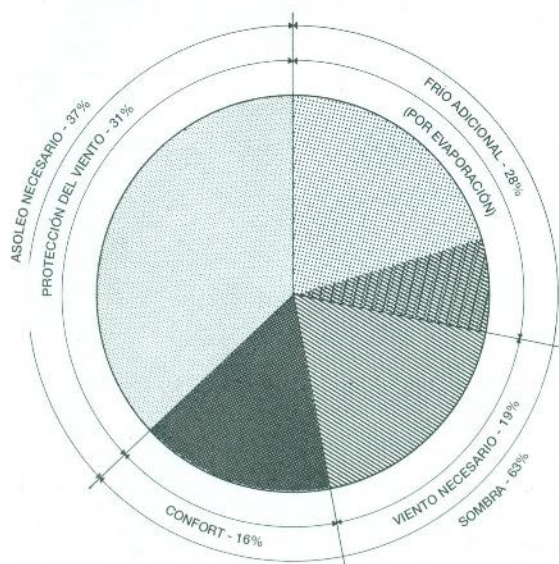


322. Vista oeste.

REGIÓN CÁLIDA-ÁRIDA



323. Análisis direccional.



Interpretación para el área de Phoenix

ANÁLISIS DETALLADO

1. *Temperaturas.* La temperatura más alta registrada es de 47,8 °C; y la más baja de -8,9 °C. A efectos de diseño se debe considerar una temperatura para verano de 41 °C, ya que solamente un 1 % de las horas supera dicha medida (un promedio aproximado de 88 horas al año). Y para el invierno puede adoptarse una temperatura de 0 °C, ya que se ha registrado por debajo solamente un 1 %. Esta región se caracteriza por presentar oscilaciones significativas de temperatura diaria (aproximadamente 16,5 °C.). El empleo adecuado de estas diferencias puede inducir al equilibrio de las temperaturas interiores.

Distribución de la temperatura en horas al año:

Por encima de los 40,6 °C	2 %	Algunas tardes de junio, julio y agosto
de 29 a 40,6 °C	23 %	temperatura normal por las tardes, desde mayo hasta octubre
de 18,3 a 29 °C	33 %	temperatura general de mayo, septiembre y octubre
de 7,2 a 18,3 °C	32 %	temperatura prevalente en invierno
de -3,9 a 7,2 °C	10 %	temperatura nocturna en diciembre, enero y febrero
Por debajo de los -3,9 °C	inferior al 1 %	temperatura en casos excepcionales

2. *Asoleo.* Los valores de intensidad de radiación solar son los más altos de todas las regiones. El valor medio de radiación que incide en una superficie horizontal en el mes de junio oscila entre 5700 y 7600 kcal/m²/día; con máximo de unas 949,4 kcal/m². La radiación solar míni-

ma sobre una superficie horizontal en dicho mes oscila entre 1386 y 3255 kcal/m²/día. En un año, un promedio del 84 % de las horas posibles, son de asoleo. El máximo, de 93 %, se registra en junio, y el mínimo, del 75 %, en enero. Un aprovechamiento adecuado de la radiación solar deberá satisfacer todos los requerimientos caloríficos del período frío. Un elevado índice de expulsión calorífica nocturna constituye la mejor herramienta natural de refresco.

3. *Vientos.* El eje de los vientos predominantes sigue la dirección E-O. Las velocidades de viento máximas que pueden ser utilizadas para ventilación y bajada de temperaturas se registran durante las tardes de primavera y otoño. En esta zona no se esperan vientos excepcionalmente fuertes. Aquellos cuyas velocidades sobrepasan los 32,2 km/h pueden arrastrar consigo arena. Los vientos nocturnos siguen la topografía, mezclándose con el aire frío que proviene de las montañas. Los vientos matinales proceden de las direcciones S, SE y SO; y los de la tarde, procedentes del oeste, son más pronunciados en verano.

4. *Precipitaciones.* El índice promedio de lluvias al año es aproximadamente de 20,3 cm, con un mínimo de 7,6 cm. Por lo general, cada mes se produce una cierta cantidad de lluvia. Los meses más secos son mayo y junio; julio, agosto y septiembre son relativamente los más húmedos. La conservación y el ahorro del agua adquieren gran importancia.

5. *Humedad relativa y presión de vapor.* El aire es seco en todas las épocas del año. En junio la humedad relativa oscila entre el 10 y el 40 %. En enero varía durante el día del 34 al 70 %. La presión de vapor sólo se incrementa en agosto, hasta alcanzar 2267 Pa. Estos niveles de humedad tan bajos permiten la adaptación de elementos para refrescar las temperaturas a través de la evaporación.

APLICACIÓN

El ambiente climático de la región cálida-árida está caracterizado por cielos despejados, largos períodos calurosos, atmósfera seca y amplia va-

ORDENACIÓN DEL CONJUNTO

EL DISEÑO DE LA CASA

1. ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO En las pendientes expuestas a SE-E, las partes bajas son las más convenientes, en estas zonas es posible aprovechar y controlar eficazmente los flujos fríos de aire. También son favorables los emplazamientos altos y los que tienen posibilidades de evaporación.	1. TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA La tipología más apropiada es la de la casa-patio: las viviendas colindantes, en hileras y organizadas en conjuntos compactos (según el eje E-O), que tienden a crear efecto volumen, son las más convenientes. Los edificios de construcción maciza son los más adecuados.
2. ESTRUCTURA URBANA Los muros de viviendas y jardines deberán proporcionar sombra a los espacios exteriores de la vivienda. Es conveniente que las unidades se agrupen en torno a un patio o zona similar, la concentración es favorable. De esta forma, la estructura urbana deberá responder ante el calor con un tejido urbano denso y sombreado.	2. DISTRIBUCIÓN GENERAL El objetivo es perder calor en lugar de ganarlo. Por lo tanto, la organización del edificio alrededor de una zona verde y cerrado al exterior es la más conveniente, ya que de esta manera se favorecen los efectos refrescantes por evaporación y la pérdida nocturna de radiación. En estas regiones es posible y favorable construir en la litosfera: por ejemplo, edificaciones subterráneas. Los techos altos no son muy necesarios. Debe considerarse la posibilidad de dormir en el exterior o simplemente bajo techo.
3. ESPACIOS PÚBLICOS Debe existir una estrecha conexión entre los espacios públicos y las áreas residenciales. Es conveniente una protección solar total o parcial, deberán evitarse las superficies pavimentadas; son beneficiosos los estanques de agua.	3. PLANTA DE DISTRIBUCIÓN Una ordenación residencial introvertida es la opción más favorable, ya que se beneficia de ventajas microclimáticas. Las edificaciones de una sola planta y una distribución correcta con economía de movimientos evita la ganancia calorífica. Las posibilidades de evaporación deben utilizarse. Las zonas productoras de calor deben situarse separadamente del resto de la casa. Las habitaciones vacías o que no se utilicen deberán emplazarse en el lado oeste para amortiguar el impacto solar.
4. PAISAJE Debido a que, por lo general, en estas regiones la vegetación es escasa, la concentración de plantas y superficies cubiertas de césped a manera de "oasis" son muy favorables.	4. FORMA Y VOLUMEN Las formas compactas y tendentes al desarrollo según el eje E-O, son las más convenientes, la proporción óptima es 1:1,3. El efecto volumen es muy importante. Las formas edificatorias deben recibir el mínimo asoleo.
5. VEGETACIÓN La vegetación es un elemento importante, tanto por su papel como superficie absorbente de la radiación como por sus propiedades de evaporación y de sombra.	5. ORIENTACIÓN Las exposiciones a 25° al este del eje sur aseguran una orientación equilibrada, pero todas las orientaciones desde el eje sur hasta los 35° al este del sur, son buenas. En el caso de edificios bilaterales con ventilación cruzada, el eje 12° al sur a partir del eje oeste es el más adecuado.
OBJETIVOS GENERALES EN LA REGIÓN CÁLIDA-ÁRIDA: Reducir la producción de calor, facilitar la pérdida de radiación. Reducir ganancias por conducción. Impulsar la evaporación.	6. EL INTERIOR La organización interna con habitaciones profundas, proporciona estancias frescas que contrastan con el intenso calor exterior. La utilización de colores "fríos" de baja emisión reduce la reflexión del calor hacia superficies interiores. El contacto con los patios refresca los espacios adyacentes.
	7. EL COLOR La pintura blanca, aplicada en superficies expuestas al asoleo, presenta un índice de reflexión muy elevado. Los colores oscuros y absorbentes pueden emplearse en aquellas superficies internas donde se esperan reflexiones. Los contrastes entre colores brillantes son acordes con el carácter general de la región.

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

1. ABERTURAS Y VENTANAS

Las aberturas pequeñas reducen la intensidad de la radiación. Las ventanas deberán estar protegidas de la radiación directa, y situadas en la parte superior de la fachada para evitar la radiación procedente del suelo, además deberán cerrar herméticamente como protección contra el calor diurno. Las sombras en el exterior son muy favorables. Las aberturas deberán localizarse en los lados S, N y, en menor proporción, en el este.

2. MUROS

Las paredes de las zonas de actividad diurna deberán estar construidas con materiales que permitan la acumulación calorífica, en cambio, los materiales de los muros de las zonas de actividad nocturna deberán tener poca capacidad acumulativa. Los paramentos a este y oeste deberán encontrarse bajo sombra. Tanto para la radiación solar como para la térmica son favorables los materiales con alto índice de reflexión.

3. CUBIERTA

Por lo general, el aislamiento por almacenamiento de calor es el mejor método. Sin embargo, una cubierta sombreada y bien ventilada es también una buena opción a aplicar en los dormitorios. Aspersores de agua o una piscina de agua en el techo es también un remedio eficaz. Un índice de reflexión solar alto es un requerimiento básico, y la capacidad de emisión es esencial para la radiación de onda larga.

4. MATERIALES

- Índice de aislamiento 45°; valor de aislamiento requerido en relación a la orientación sur es: E, 1,1; O, 1,2; N, 1,0; cubierta, 1,6.
- Muros con alta capacidad calorífica son esenciales. Retrasos por inercia necesarios para el equilibrio interno son: E, 0 horas; S, 10 horas; O, 10 horas; N, 10 horas; cubierta, 12 horas.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN SOLAR

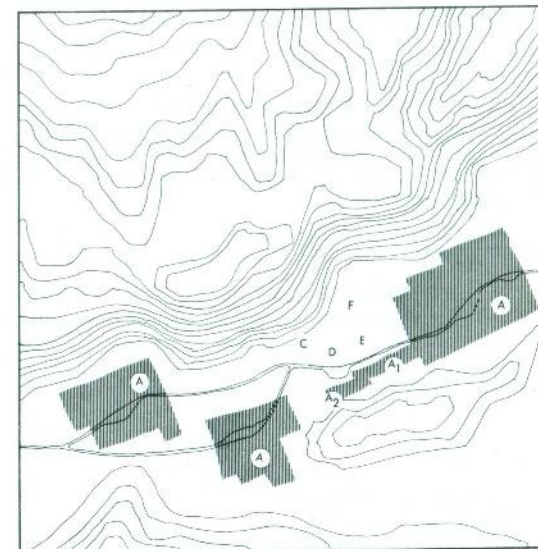
Estos elementos deben estar separados del edificio y expuestos a la convección del viento.

6. CIMIENTOS Y SÓTANOS

La tipología de casa subterránea es posible en esta zona.

7. EQUIPO MECÁNICO

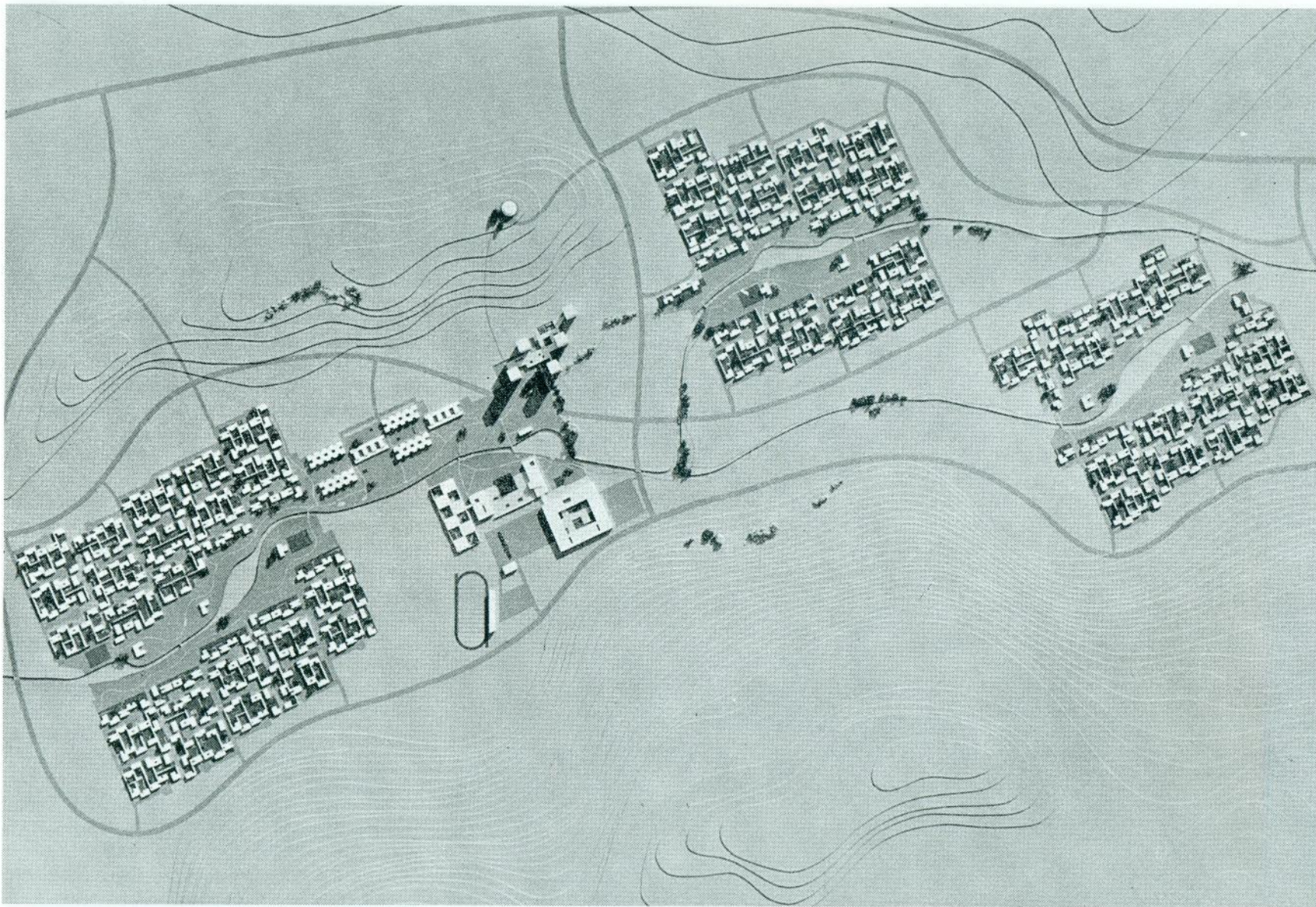
El equipo debe tener una gran eficacia operativa en los elementos productores de calor, por ejemplo la cocina.



325. Organización y selección del emplazamiento.

riación de temperatura diurna. Los emplazamientos situados a cotas bajas, pero por encima del fondo del valle, pueden beneficiarse de flujo de aire frío. Las masas de agua moderan las temperaturas extremas y, por evaporación, proporcionan efectos microclimáticos favorables. (En este caso los cauces de las corrientes de agua se han escogido con cierta libertad). Las condiciones ambientales de la mañana regulan la orientación del eje de la ordenación, con objeto de aprovechar el asoleo matutino habrá que prever elementos de sombra para las horas de la tarde. Las altas temperaturas obligan a la utilización del efecto volumen, por concentración, en la ordenación urbana. De acuerdo con estos parámetros, las colonias residenciales (A) se organizan en grupos cerrados. Las viviendas en hilera (A1), los edificios de apartamentos (A2), los equipamientos comerciales (C), administrativos (D), escolares (E) y recreacionales (F) reflejan el mismo carácter compacto.

La perspectiva oeste muestra la tendencia cohesiva de la ordenación del conjunto, que se agrupa alrededor de entornos favorables, bus-



326. Ordenación residencial de una zona cálida-árida.

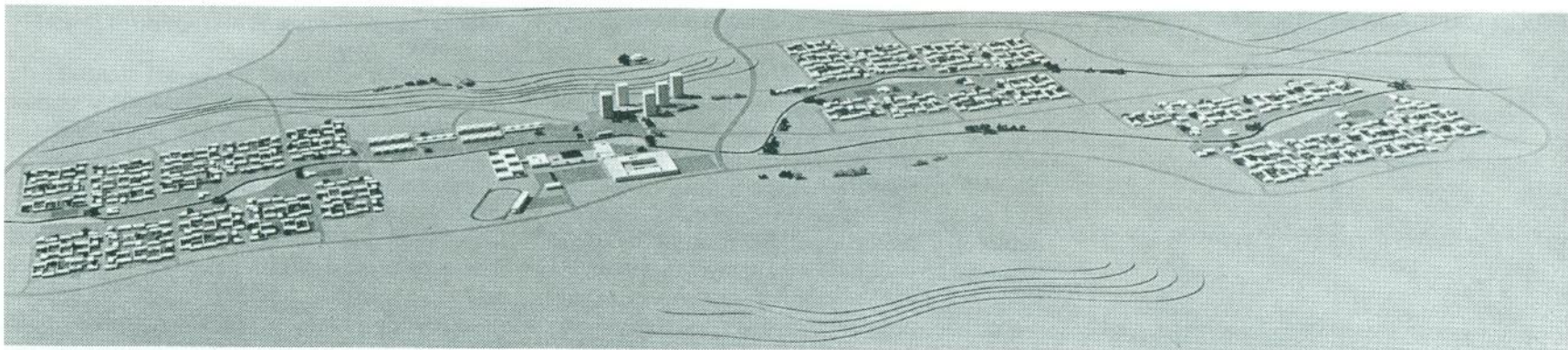


327. Vista desde el este.

cando una protección de los elementos. La cercanía entre las colonias residenciales reduce las distancias peatonales. La comunicación con los equipamientos presumiblemente deberá realizarse en coche, aunque también existen caminos peatonales. En otras zonas cálidas-áridas, donde el tráfico rodado es escaso, las colonias se situarán colindantes. La ordenación residencial sigue un patrón en forma de greca, manteniendo la frescura proporcionada por los patios. La orientación general del conjunto sigue un eje a 25° este de la orientación sur.

En esta región la forma de la casa tiende a ser cúbica para responder a las altas temperaturas. Para conseguir una transmisión favorable y dilatada de las mismas se utilizarán en su construcción materiales pesados. Asimismo, la agrupación de las unidades proporciona beneficios por el efecto volumen. La organización alrededor de patios, donde la casa se desarrolla según un eje este-oeste y los muros del jardín se orientan en dirección norte-sur, permite alcanzar un equilibrio entre los efectos solares y los de sombra. Las superficies ajardinadas con césped, que se refrescan por la noche al desprender el calor producido por la radiación y por la evaporación, moderan las temperaturas diurnas. Dentro de los edificios, la presencia de patios con estanques, piscinas o fuentes aspersoras mejora las condiciones del ambiente interior. Todos estos aspectos sugieren esquemas de viviendas interiorizados que proporcionan, a su vez, privacidad.

Las edificaciones plurifamiliares se sitúan cerca del centro. Las viviendas en hileras (A1) consisten en una agrupación de unidades que se colocan según el eje este-oeste. Cerca del centro comunitario (C) se emplazan los edificios de viviendas (A2). Los extremos este y oeste deben ser macizos. Las aberturas situadas en las fachadas norte y sur pueden combinarse con balcones sobresalientes que cumplen el doble propósito de proporcionar sombra durante el día y facilitar la expulsión de radiación por la noche. En el patio central del edificio comunitario se sitúa el área



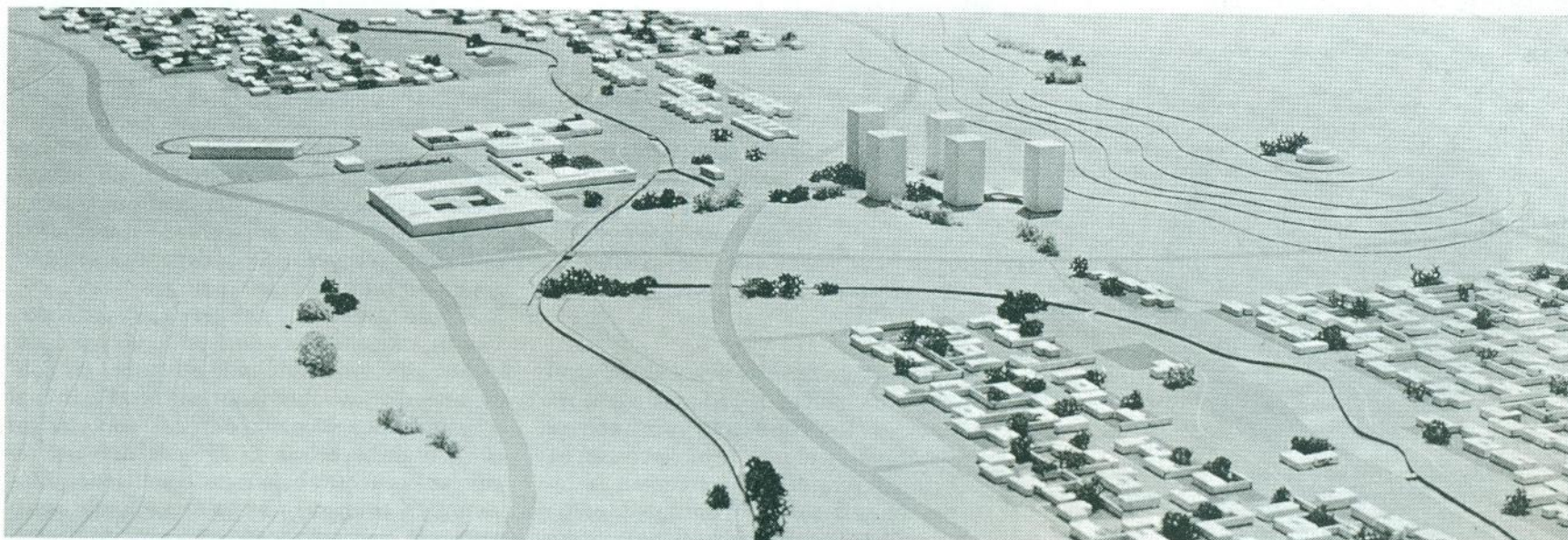
328. Vista norte.

comercial. Las aulas de la escuela (E), se colocan en una posición adyacente a los jardines.

Las arterias de tráfico alimentan los sectores residenciales con pequeñas calles que terminan en "cul-de sac"; la red verde, separa-

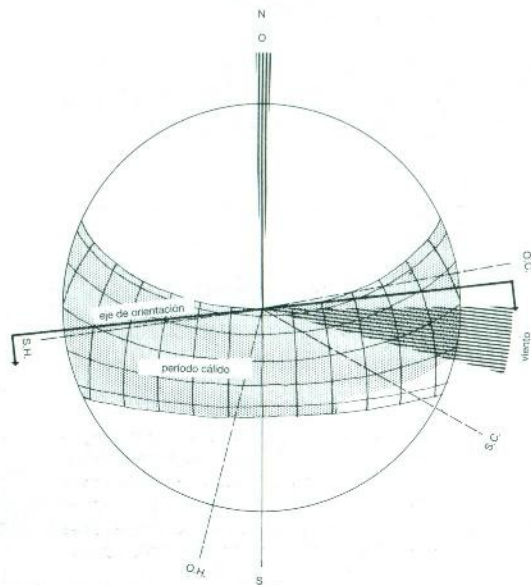
da, señala los caminos para peatones de las zonas comunitarias.

La perspectiva del conjunto residencial en la región árida-cálida refleja su carácter cerrado y denso.

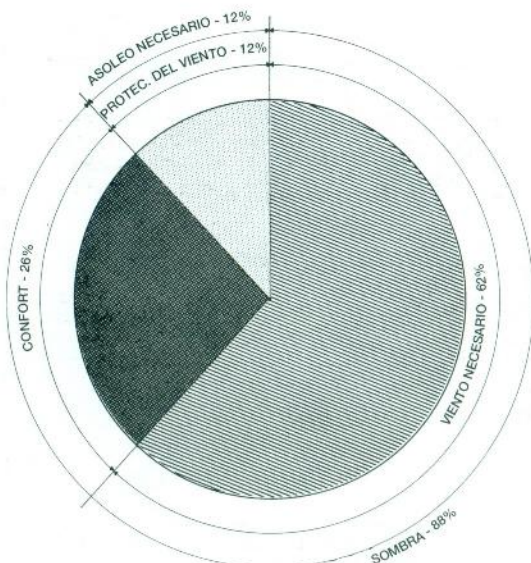


329. Vista del centro comunitario.

REGIÓN CÁLIDA-HÚMEDA



330. Análisis direccional.



Interpretación para el área de Miami

ANÁLISIS DETALLADO

1. *Temperatura.* La temperatura más alta registrada es de 35,6 °C; las temperaturas invernales nunca bajan más de 8 °C durante el día. A efectos de diseño, la temperatura de verano será de 32,2 °C y la de invierno 8,3 °C (descontando el 1 % correspondiente a las temperaturas más frías). Esta región se caracteriza por tener pequeñas variaciones de temperatura; el margen de variación mensual a lo largo del año es de 12 °C. Las oscilaciones diarias de temperatura son solamente de unos 3,3 °C en verano y aproximadamente 7 °C en invierno.

Distribución de las temperaturas en horas al año: por encima

de 29,4 °C	11 %	típica de las tardes de junio, julio, agosto y septiembre; y menos frecuente durante marzo, abril, mayo y octubre.
de 18,3 a 29,4 °C	75 %	clima mayoritario. Todas las temperaturas medias se encuentran dentro de este margen
de 7,2 a 18,3 °C	14 %	margen nocturno principal, durante los meses de diciembre a marzo. Y margen que se produce ocasionalmente en algunos días de invierno.
por debajo de 7,2 °C	0 %	despreciable

2. *Asoleo.* Las horas efectivas de sol alcanzan el 66 % de la media total anual. El máximo se recibe durante los meses de marzo y abril con un 72 %; y el mínimo en el mes de junio con un 61 %. Las brumas veraniegas interceptan la radiación del sol; se desarrollan durante la etapa más calurosa del día reduciendo el impacto solar. Existe una gran proporción de radiación

difusa. Las sombras son necesarias durante casi todo el año.

3. *Viento.* La velocidad media del viento es de 16 km/h y procede del este, afectando la región tanto por la mañana como por la tarde. En la mayor parte de las horas nocturnas y vespertinas el ambiente permanece en calma, produciéndose solamente ligeras brisas. En invierno, los vientos que soplan por la noche son más fuertes y proceden tanto del norte como del este. Los vientos septentrionales prevalecen desde octubre hasta marzo. La combinación de brisas marinas y vientos pueden alcanzar, en las tardes del verano, velocidades de 32 a 48 km/h; produciéndose vientos más fuertes en los días más calurosos. Estos últimos no sobrepasan, generalmente, los 80,5 km/h; no obstante, se han registrado velocidades máximas de 198 km/h en vientos procedentes de la dirección NE. Los huracanes suelen presentarse desde las direcciones E y SE, principalmente en los meses de septiembre, octubre y noviembre.

4. *Precipitaciones.* La media de precipitaciones en forma de lluvia es de 152,4 cm, se produce principalmente en los meses de verano. Por lo general, septiembre es el mes más lluvioso, con un índice de precipitaciones de 18 días. Desde junio a septiembre puede llover día sí y día no. Durante el invierno la media es de un día lluvioso de cada cuatro. La precipitación máxima en un solo día se produce en noviembre y puede alcanzar los 61 cm. En marzo, abril, mayo y agosto pueden caer entre 20,3 y 25,4 cm en períodos de 24 horas, en media hora pueden recogerse 5 cm pero rara vez 1,25 cm en períodos de cinco minutos.

5. *Humedad relativa y presión de vapor.* La presión de vapor media anual es de aproximadamente 2400 Pa. Desde julio a octubre las condiciones diarias sobrepasan los 2600 Pa; lo cual constituye una situación difícil de soportar sin el efecto de las brisas. El 25 % del año esta región se encuentra bajo estas condiciones. Más de un 5 % se encuentran en áreas donde es necesaria la presencia de movimientos de aire para restaurar la sensación de confort.

ORDENACIÓN DEL CONJUNTO

EL DISEÑO DE LA CASA

1. ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO Emplazamientos situados un poco altos y enfrentados a la dirección del viento son los más convenientes; en especial aquéllos situados cerca de las crestas donde reciben la mayor cantidad de movimiento del aire. Las pendientes norte y sur son mejores que las este y oeste debido principalmente a que reciben menor radiación.	1. TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA La tipología de vivienda más apropiada es la individual, aislada y situada preferiblemente en un emplazamiento un poco elevado. Así como también los edificios altos de formas libres y alargadas.
2. ESTRUCTURA URBANA Las casas deben estar separadas para aprovechar los movimientos del aire. Los espacios techados adquieren mayor importancia. El carácter del entramado urbano debe ser más disperso y relajado.	2. DISTRIBUCIÓN GENERAL Las edificaciones deben ser estructuras sombreadas que estimulen los movimientos de aire refrescantes; la protección solar debe estar presente en todas las superficies expuestas al asoleo, especialmente en el techo y en las fachadas este y oeste.
3. ESPACIOS PÚBLICOS Distancias peatonales mínimas y preferiblemente sombreadas.	3. PLANTA DE DISTRIBUCIÓN Debido a que las temperaturas no son excesivas, si la casa se encuentra protegida por la sombra, su planta de distribución puede desarrollarse libremente; es importante prever un paso de aire hacia el interior. Deben evitarse las zonas pavimentadas. Es necesario colocar una tela o malla protectora contra insectos. Las zonas de las viviendas donde se produzca humedad o calor deberán estar ventiladas y separadas del resto de la edificación. En los espacios de almacenamiento es necesario controlar el vapor, los insectos y la humedad.
4. PAISAJE En áreas de topografía llana, la utilización integrada del agua no es solamente posible, sino beneficiosa. Los drenajes de agua deberán estar situados lejos de la casa; también se deberán prever las pendientes necesarias para permitir la escorrentía del agua en el caso de tormentas muy fuertes.	4. FORMA Y VOLUMEN Los fuertes efectos de la radiación en los lados E y O determinarán la tendencia de la edificación hacia una forma ligeramente alargada. La proporción óptima es 1: 1,7, aunque 1:3,0 en el eje E-O es también aceptable. En esta región el efecto volumen no es conveniente.
5. VEGETACIÓN Las ramas de los árboles plantados para proporcionar sombra deberán ser altas, para no interferir con las brisas. La vegetación baja debe estar lejos de la casa para no interrumpir el movimiento del aire. El aire que incide en una estructura procedente de un estanque a la sombra es muy beneficioso.	5. ORIENTACIÓN La orientación sol-aire se encuentra equilibrada en los 5° al este del eje sur, permaneciendo estable hasta una desviación relativa de 10° a partir del mismo. Aquellas orientaciones en las que el lado más largo se encuentra en una situación diferente a la procedencia del viento, son aceptables solamente si se encuentran protegidos bajo la sombra.
OBJETIVOS GENERALES EN LA REGIÓN CÁLIDA-HÚMEDA. Reducir la producción de calor. Reducir los aumentos de radiación. Potenciar la pérdida por evaporación.	6. EL INTERIOR Los espacios interiores deberán estar sombreados y bien ventilados. Son adecuados espacios flexibles y multiusos divididos con paneles móviles o muros bajos. Los materiales del suelo deberán ser resistentes a la humedad. Las zonas de actividad diurna deberán permitir el paso del flujo de viento de este a oeste a través de ellas. Es asimismo necesario disponer una zona protegida y de seguridad para la temporada de huracanes.
	7. EL COLOR Los colores reflectantes que se encuentran en la gama de los tonos pastel son los más apropiados, ya que ayudan a evitar los resplandores tanto en el interior como en el exterior.

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

1. ABERTURAS Y VENTANAS

Las diferenciaciones existentes hasta ahora entre muros y aberturas desaparecen. La ventilación es necesaria el 85 % del año; la ventilación cruzada según el eje E-O es esencial. Elementos tales como pantallas, lamas, celosías, etc. son válidos para permitir el flujo del aire y proteger al mismo tiempo de la radiación solar. La edificación deberá estar protegida del sol, la lluvia, la radiación celeste y el deslumbramiento. Cerramientos desmontables son útiles para la protección de las viviendas durante la temporada de huracanes.

2. LOS MUROS

En esta región las paredes tienen menor importancia que en los otros ejemplos. Su utilidad principal es la de actuar como pantalla de protección contra insectos sin impedir la penetración del viento. No actúan como barreras térmicas.

3. CUBIERTAS

En este elemento es donde tienen lugar los impactos térmicos más fuertes: el énfasis del diseño se traslada de las paredes a la cubierta. Una cubierta doble, ventilada, es la más apropiada siempre que el panel superior funcione como protector del sol. Debe ser impermeable y aislada, y reflejar los rayos solares. Es necesaria la extensión de la cubierta formando voladizos para proteger de la lluvia y del resplandor del cielo (la lluvia cae generalmente formando un ángulo de 45°).

4. MATERIALES

- El índice de aislamiento es 35°; el valor de aislamiento requerido en relación a la dirección S es: E, 1,4; O, 1,5; N, 1,1; cubierta, 2,3.
- Los materiales más apropiados para las paredes son los que tienen poca capacidad calorífica, ya que los que tengan gran inercia térmica pueden originar radiación nocturna de calor y condensación matinal.
- Es necesario prevenir el deterioro de los materiales ante la humedad u otros agentes.

5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN SOLAR

Los elementos de control solar son muy importantes debido a la poderosa radiación que procede principalmente de los lados E y O; nótese también que, en verano, la pared norte recibe mayor impacto de la radiación que la sur.

6. CIMIENTOS Y SÓTANOS

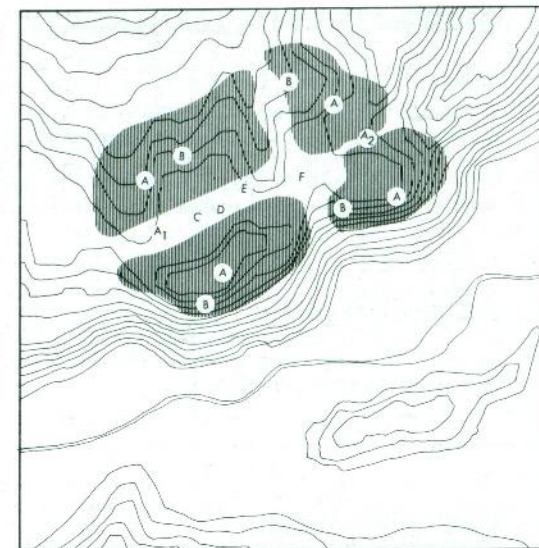
Los sótanos son impracticables debido a la constante presencia de un nivel alto de humedad. Los cimientos deben estar protegidos de humedad, hongos, termitas y otros tipos de insectos y animales roedores. Una construcción de tipo palafítica proporciona una ventilación más adecuada en las zonas de actividad diaria, y crea un área protegida debajo de ella.

7. EQUIPO MECÁNICO

Sólo es necesaria una calefacción moderada durante 40 horas al año, con diferencias térmicas entre el interior y el exterior de 14 a 17 °C; 1250 horas requieren un suministro bajo (diferencia media de 3 y 5,6 °C); y 940 horas no requieren ningún tipo de tratamiento especial. La refrigeración es conveniente durante 6650 horas al año; no obstante, una instalación de este tipo, con su alto coste, contrasta drásticamente con las condiciones externas normales. La ventilación mecánica a través de ventiladores es muy eficaz.

8. OTROS

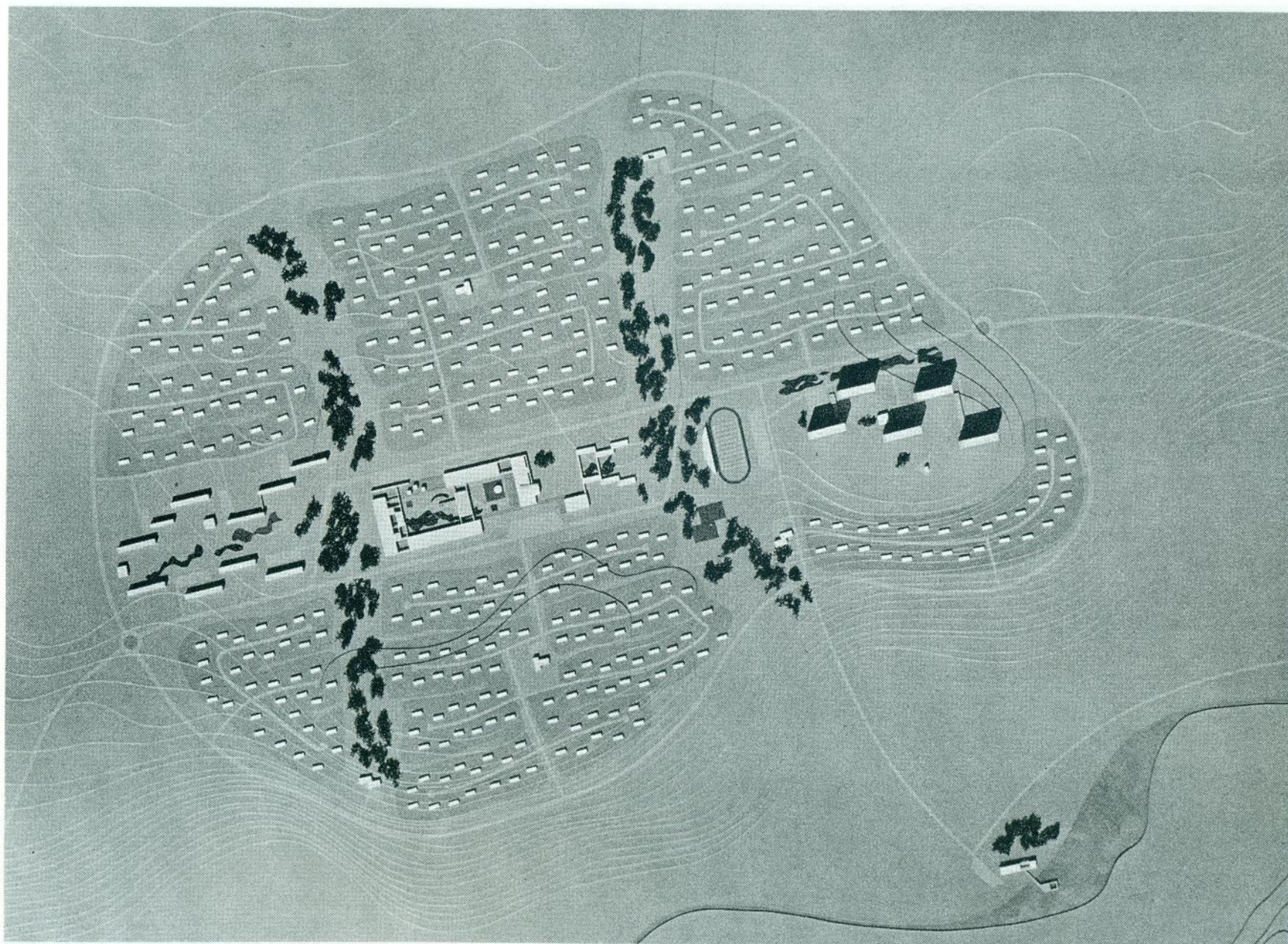
La edificación debe estar protegida contra los hongos, el musgo y los efectos de la humedad. El flujo de aire es necesario para prevenir cualquier efecto. Las estructuras deberán diseñarse para resistir la velocidad de los vientos huracanados.



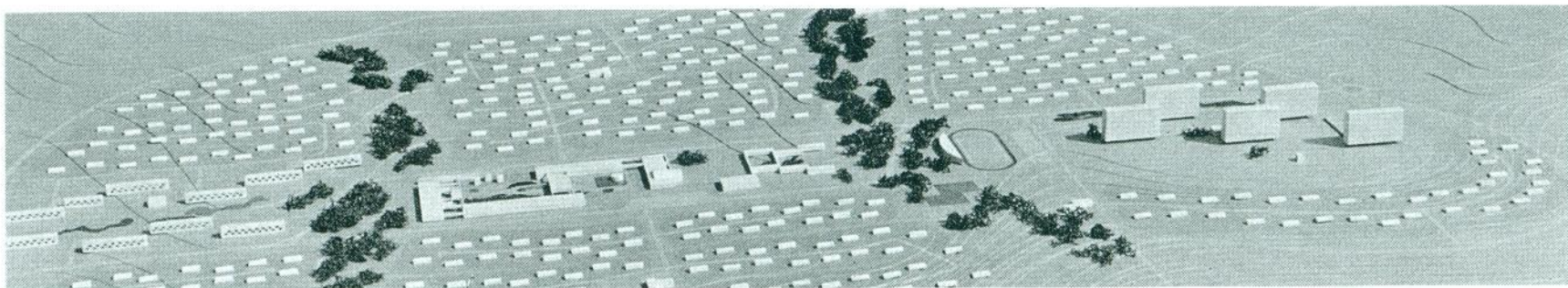
332. Organización y selección del emplazamiento.

APLICACIÓN

En la región cálida-húmeda prevalecen las altas temperaturas. Este factor afecta especialmente a las zonas de alta presión de vapor. El remedio natural a esta situación pasa por el incremento del movimiento del aire; consecuentemente, la utilización de los efectos del viento constituye la consideración primordial en la elección del emplazamiento. En el ejemplo mostrado aquí se escogió la plataforma superior para situar las viviendas debido a su exposición directa al viento, incluyendo las aristas del terreno donde puede producirse una aceleración de los flujos. Desde el punto de vista de la orientación respecto al sol, dado que prevalecen condiciones calurosas prácticamente durante todo el año, las exposiciones favorables son las que reciben el menor impacto calorífico de la radiación solar. Una posición orientada según el eje este-oeste no satisface la demanda de exposición al viento proveniente del este. Por lo tanto, es necesario realizar ciertos ajustes para cumplir con ambos requerimientos. En la planta se ha aceptado que la orientación solar sea el factor do-



333. Ordenación residencial de una zona cálida-húmeda.



334. Vista desde el sur.

minante (decisión injusta para las necesidades de Miami), ya que constituye el aspecto más típicamente generalizable de la situación cálida-húmeda. En la organización del conjunto existe una tendencia paralela. En la banda central, entre las zonas de viviendas aisladas (A), se sitúan los equipamientos comerciales (C), administrativos (D), deportivos (F) y escolares (E). Cerca de éstos se encuentran los grupos de viviendas adosadas (A1) y los edificios de apartamentos (A2).

Para beneficiarse del flujo del aire, la ordenación residencial tiende a expandirse, dando como resultado una baja densidad y un índice también bajo de utilización del suelo. Al mismo tiempo, su relativa cercanía respecto al centro comunitario disminuye las distancias peatonales. En el ejemplo de ordenación aquí presentado, con objeto de encontrar el equilibrio entre las diversas demandas, la zona central pública se ha dividido con dos cinturones vegetales que proporcionan sombra a los caminos peatonales.

Las edificaciones que se encuentran situadas en la zona cálida-húmeda, y que se orientan según el eje norte-sur, reciben mayor cantidad de radiación desfavorable que las emplazadas en otras regiones climáticas. Es por esto que su posición tiende naturalmente a acercarse a la orientación este-oeste. Por otra parte, debido a que los impactos de temperatura no son excesivos, un desarrollo alargado en

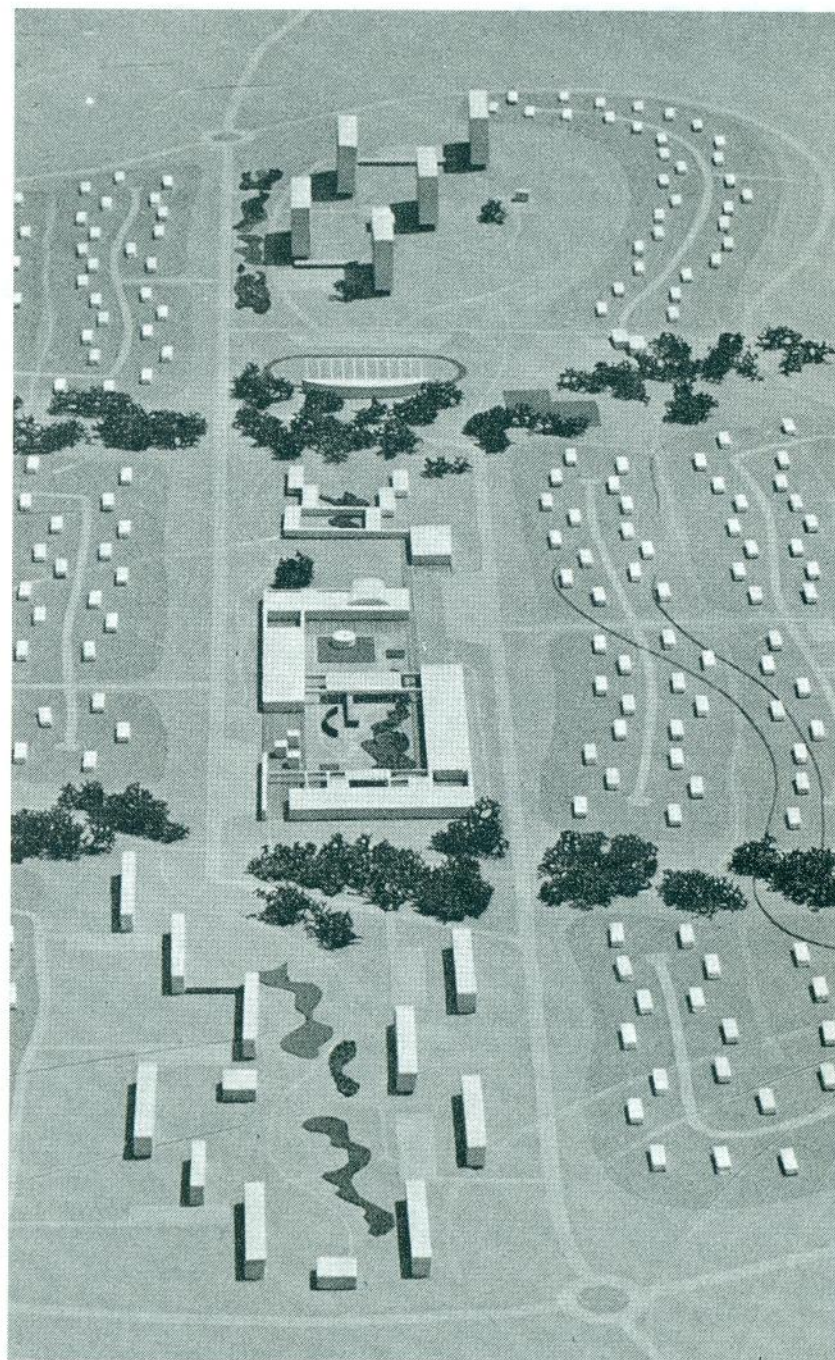
335. Vista este.



su forma, no es solamente posible, sino ventajoso. Esto satisface asimismo las necesidades de flujo de aire. En la zona residencial, teóricamente protegida por la sombra proporcionada por árboles de gran copa y ramaje (omitidos en los gráficos para mayor claridad), las viviendas aisladas se organizan escalonadamente. Las casas más alargadas deberán tener sus extremos este y oeste cerrados, o con elementos de control solar y con voladizos en la cubierta. Bajo el elemento de protección solar la distribución interior de las plantas es libre, ya que la convección calorífica tiene una importancia secundaria. Los edificios en altura se benefician de un flujo de aire más fuerte. Las viviendas adosadas (A1) consisten esencialmente en unidades de varias plantas separadas por terrazas para permitir la entrada del flujo de aire circundante. Los edificios de apartamentos (A2) son estrechos y altos. Esta forma laminar intercepta la pequeña radiación; las alturas obstruyen el flujo del aire y originan beneficiosas zonas de alta presión frente al edificio. Las fachadas deben ser permeables a los vientos y controlar la penetración de la radiación solar.

El centro comunitario (C) está compuesto por edificios abiertos, independientes pero conectados entre sí permitiendo el paso libre de las corrientes de aire y proporcionando paseos peatonales sombreados.

El carácter general de una estructura urbana emplazada en una zona cálida-húmeda, se basa en una ordenación de baja densidad, una orientación sol-viento coherente y un alto grado de libertad en la distribución de las viviendas protegidas por la sombra.



336. Vista oeste del centro comunitario.

Arquitectura y clima és un clàssic (el llibre fou originalment publicat en la dècada de los cinquanta en Estados Unidos) de absoluta actualitat. Las cuestiones medioambientales són nuevamente tema central del debate arquitectónico y urbano y, en este sentido, el libro de Olgyay constituye un elemento de referencia clave para aquellos arquitectos y urbanistas interesados en estos temas. Victor Olgyay, fou professor en la Escuela de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Princeton hasta 1970 y precursor en la investigación sobre la relación entre arquitectura y energía. En este libro-compendio de todos sus escritos, Olgyay nos habla de la relación entre un edificio y el medio natural que lo envuelve, en palabras del propio autor, de la relación entre "arquitectura" y "lugar", entre "forma" y "clima" o entre "urbanismo" y "regionalismo".

El libro se desarrolla en tres partes que se refieren, respectivamente: al clima y su relación con el ser humano; a la interpretación de las acciones del clima en clave arquitectónica y a su aplicación en la arquitectura y el urbanismo. En su conjunto el libro desarrolla, especialmente en sus dos primeras partes, una completa teoría de diseño arquitectónico autoconsciente, apoyada sólidamente en lógicas justificaciones teóricas y coherente con los principios físicos que afectan a los temas tratados.

Olgyay utiliza métodos y conocimientos propios de otras disciplinas (biología, meteorología, ingeniería...) para aplicarlos a cuatro regiones climáticas distintas y mostrar cómo podemos llegar a nuevas interpretaciones y soluciones sobre la orientación, las formas de la edificación, el emplazamiento y el entorno, los efectos y los materiales...

Los principios básicos enunciados en este libro así como los procesos de diseño que aquí se recomiendan son directamente aplicables a cualquier proyecto actual. Aunque hoy en día los arquitectos disponen de métodos de cálculo mucho más elaborados, de recursos técnicos facilitados por la informática, de materiales y soluciones constructivas experimentadas en laboratorios..., el libro de Olgyay continua siendo plenamente útil. A fin de ilustrar con más claridad la relación entre el contenido del libro y la realidad de los diferentes países de habla hispana, esta edición cuenta con un apéndice —especialmente elaborado por la arquitecta Susana Rodríguez— en el cual se facilita información y datos relacionados con la península ibérica y con algunos países de América Latina. El libro cuenta también con un interesante prólogo del arquitecto Rafael Serra Florensa.

Editorial Gustavo Gili, SL
Rosselló, 87-89, 08029 Barcelona
Tel. 93 322 81 61 - Fax 93 322 92 05
e-mail: info@ggili.com
<http://www.ggili.com>

AD
+E
Arquitectura y Diseño+Ecología

TES VB
VALLE DE BRATO



SOLO CONSULTA

ISBN 84-252-1488-2



9 788425 214882